

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Hydraulická rekuperace lopatového rypadla

Hydraulic Recuperation of the Shovel Excavator

Student: Bc. František Zemčík

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Fries Jiří, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. František Zemčík**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: **Hydraulická rekuperace lopatového rypadla**
Hydraulic Recuperation of the Shovel Excavator

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce zpracujte rešerši dané problematiky. Navrhněte schéma rekuperace brzdy hydraulického obvodu lopatového rypadla. Vypracujte konstrukční návrh celého zařízení a jeho umístění na stroji. Zpracujte výkresovou dokumentaci dle pokynů zadavatele a vedoucího práce. Návrh podložte příslušnými kinematickými a pevnostními výpočty. Bližší specifikaci jednotlivých parametrů a provozních podmínek určí zadavatel - fa Kuhn Bohemia a.s.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOPÁČEK, J. – PAVLOK, B. *Tekutinové mechanismy*. Ostrava: VŠB–TU Ostrava, 1994, 156 s. ISBN 80-7078-238-2.

JERÁBEK, K. – HELEBRANT, F. – JURMAN, J. – VOŠTOVÁ, V. *Stroje pro zemní práce, Silniční stroje*. Opava: Grafis spol. s r.o., 1996. 468 s.

JERÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: ČNI, 1996. 32 s.

Odborná literatura včetně norem a vyhlášek.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.5.2014



.....
Bc. František Zemčík

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 18.5.2014



.....
Bc. František Zemčík

Bémova 666/29

Ostrava-Bartovice

okr. Ostrava - město

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZEMČÍK, F. Hydraulická rekuperace lopatového rypadla KOMATSU PW180-7E0 s výkonem kapalinou chlazeného motoru 116 kW, rozchodem kol 2,55 m, rozvorem náprav 2,6 m a provozní hmotností 18220 kg. Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2014, 61 s. Diplomová práce, vedoucí Fries, J.

V této diplomové práci se zabývám konstrukčním návrhem rekuperačního zařízení brzdy otočné horní stavby lopatového rypadla KOMATSU PW180-7E0. V první části diplomové práce je vypsána stručná charakteristika problematiky lopatových rypadel. Následuje upřesnění principu rekuperace, návrh hydraulického schémata a konstrukce zařízení. Dále se práce věnuje popisu výroby, montáži a testování prototypu rekuperačního zařízení. Závěr diplomové práce je věnován zhodnocení tlakové rekuperace a jejímu ekonomickému přínosu. Příloha obsahuje výkresovou dokumentaci prvků zařízení.

ANNOTATION OF THE DIPLOMA THESIS

ZEMČÍK, F. Hydraulic Recovery of KOMATSU PW180-7E0 shovel excavator with power of liquid-cooled engine of 116 kW (158 HP), wheel track 2,55 m, wheelbase 2,6 m and weight 18220 kg. Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2014, 61 pp. Diploma thesis, supervisor Fries, J.

This thesis deals with the KOMATSU PW180-7E0 shovel excavator new recovery equipment design of the excavator swing brake. The first part of the thesis includes brief characteristics of the shovel excavators. The recovery principle specification, hydraulic circuit diagram suggestion and the recovery equipment design will follow. The thesis continues with a description of the production, assembly and testing of the recovery equipment prototype. The end is devoted to the economical explanation of the pressure recovery. You can find the design documentation in the appendices.

Obsah diplomové práce

1. Úvod	9	
2.1 Stroje pro zemní práce		10
2.2 Vznik a vývoj lopatových rypadel		10
2.3 Rozdělení lopatových rypadel		11
2.3.1 Podvozek		12
2.3.2 Otočná stavba		13
2.3.3 Pracovní zařízení		14
2.3.4 Lopatová rypadla		15
2.4.1 Kolové lopatové rypadlo KOMATSU PW180-7E0		18
3. Definice úkolu a směr jeho řešení	20	
4. Návrh konstrukčního řešení rekuperačního zařízení	23	
4.1. Návrh hydraulického schémata		25
4.2. Návrh podpěr prvků zařízení		30
4.3. Elektronické ovládání		30
5. Výpočty	33	
5.1 Analýza MKP levé podpěry prvků rekuperačního zařízení		33
5.2 Analýza MKP pravé podpěry prvků rekuperačního zařízení		36
5.3 Analýza MKP tlakového působení v PTCV bloku		40
5.4. Výpočet akumulátoru a jeho primárního tlakování		43
5.5. Analýza brzdné síly		46
5.6. Kontrola stability		47
5.7. Výpočet vlastní frekvence levé podpěry hydraulických prvků		47
6. Výroba prototypu	52	
6.1. Výroba součástí dle výrobní dokumentace		52
6.2. Elektronické zařízení		52
6.3. Cena výroby prototypu		52
7. Měření a diagnostika zařízení	54	
8. Závěr	59	
9. Seznam použitých pramenů	60	
10. Seznam příloh	61	

Seznam použitého značení

Značka	Název	Rozměr
F	působící síla	[N]
R _e	mez kluzu materiálu	[MPa]
R _m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
k ₁	součinitel měrného odporu rýpání	[Pa]
b	šířka třísky	[m]
c	tloušťka třísky	[m]
V	objem kapaliny	[dm ³]
V _g	geometrický objem hydraulického motoru	[dm ³]
I ₁	převodový poměr převodovky	[-]
I ₂	převodový poměr ozubeného věnce	[-]
α	úhel natočení otočné stavby	[°]
m _{PTCV}	hmotnost bloku PTCV	[kg]
m _{SV}	hmotnost přepínacího ventilu	[kg]
p	tlak kapaliny	[Pa]
V _A	objem kapaliny v akumulátoru	[dm ³]
g	tíhové zrychlení	[m · s ⁻²]
χ	adiabatický exponent	[-]
ω	úhlová rychlost	[rad.s ⁻¹]
φ	úhel pootočení	[°]
t	čas	[-]
J	moment setrvačnosti	[kg.m ²]
r ₁	vzdálenost od středu otáčení po konec protizávaží	[mm]
b _s	šířka stroje	[mm]
m _o	hmotnost horní stavby	[kg]
r	poloměr rotujícího tělesa	[m]
ρ	měrná hmotnost	[g.cm ⁻³]
E	kinetická energie	[J]
d	průměr pístu v akumulátoru	[m]
S _p	plocha pístu akumulátoru	[m ²]
σ	maximální napětí	[MPa]

A	práce	[J]
s	dráha pístu	[m]

1. Úvod

Japonská firma KOMATSU vyrábí stavební, těžební, zemní a zemědělské stroje už bezmála sto let. Během této doby prošla na trhu s těmito stroji kompletním vývojem a stala se jedním z čelních představitelů mechanizačního průmyslu na celém světě. V této souvislosti sloučila svou činnost s různými předními výrobci stavebních a zemních strojů na světě. Vlivem kooperací svých technologií s technologiemi původních výrobců je dnes stále na přední příčce tohoto odvětví.

V této diplomové práci se zabývám konstrukčním návrhem systému pro využití brzděné energie horní stavby hydraulického lopatového rypadla. Samotný návrh je podpořen popisem funkčního prototypu systému zprovozněného na kolovém hydraulickém rypadle KOMATSU PW180-7E0 (obrázek 1.1). Tento stroj spolu s dalšími kolovými lopatovými rypadly a kolovými lopatovými nakladači jsou pro evropský trh vyráběny v německém Hannoveru.

Pro návrh systému a samotnou konstrukci prototypu je potřeba provést analýzu sil horní stavby kolového rypadla během otáčení. Potřebnou energii pro brzdění stavby a kalkulace možného využití. Dále sestavit hydraulické schéma systému pro implementaci do daného stroje včetně návrhu hydraulického akumulátoru. Pro konečnou kompletaci zařízení je nutno navrhnout podpěry pro hydraulické komponenty systému a elektronické ovládání.



Obrázek 1.1 - KOMATSU PW180-7E0

2. Rešerše dané problematiky

2.1 Stroje pro zemní práce

Tak jako i v jiných činnostech lidské společnosti je prováděn rozvoj také ve stavebním a těžebním průmyslu. Za léta existence byl zaznamenán obrovský rozvoj po všech stránkách těchto odvětví, jak materiálové, tak technické a technologické. Tato odvětví průmyslu jsou úzce provázána s jinými odvětvími a plynně na spoustu z nich navazují či se navzájem doplňují. Na mysli vyvstane především hutnictví, doprava, vodohospodářství, zemědělství a jiné. Pokrok každého jednotlivého odvětví je dán především investicemi každého státu, a proto úzce souvisí s ekonomickou vyspělostí dané země.

Zemní práce jsou základním kamenem těžebního a stavebního průmyslu. Tyto práce jsou nutné pro založení jakýchkoli staveb, a to dopravních, vodohospodářských, obytných, zemědělských a průmyslových včetně jejich logistického zajištění. V těžbě jsou to operace vedoucí k otevření lomu nebo odhalení ložiska, přípravu k těžbě a samozřejmě samotnou těžbu. Kromě zmíněného nelze opomenout důlní činnost, a třeba i předpokládanou činnost při stavbách ve vesmíru.

Dnes už se těžební a stavební průmysl neobejde bez strojů a přidružené techniky. Doba si žádá maximální produktivitu a efektivitu celého souhrnu prací. S tímto ohledem je nastavena i technologie od počátku až po dokončení. Možnosti využití lidských zdrojů jsou oproti minulosti omezeny na řízení, kontrolu a obsluhu jednotlivých operací, procesů a strojů. Velmi důležitým aspektem užití strojů nebo důsledků jejich využívání se v poslední době také stal environmentalismus nebo pouze jeho ekologický článek. Při všech procesech od schválení těžby nebo stavby je zákonem potřebné dodržet spoustu opatření vedoucích k zachování lehké rovnováhy v přírodě a hlavně v dotčených oblastech.

2.2 Vznik a vývoj lopatových rypadel

Po celou dobu lidské činnosti se setkáváme se snahami o zjednodušení, případně zefektivnění práce. Jde o komplex využití jiných zdrojů energie (domácí zvířata, vítr, voda) a s nimi související nutný technický a technologický pokrok. Kde zpočátku stačily jednoduché saně a páky, tam bylo potřeba v dalších dobách uplatnit kola,

kladkostroje a další důmyslné mechanismy, které dokázaly další zdroje využít s větší účinností.

Vzniku hydraulických lopatových rypadel předcházela rozvoj rypadel mechanických. Jejich vývoj byl dán zdokonalením parního stroje a později motoru spalovacího. Pohyb pracovních zařízení byl proveden řetězy a lany. Následně přišlo zdokonalení konstrukce rámců a výložníků, jejich zvýšená tuhost při stejných nebo zmenšených rozměrech. To bylo výsledkem vývoje v oboru materiálového inženýrství. Ke zdokonalení hydraulických systémů a to převážně v letectví (1, s.158) došlo během II. Světové války (2, s. 5). Následné využití přímočarých hydraulických motorů (válců) vedlo ke zjednodušení celkové konstrukce a ovládání. Vyvinutí kombinovaných ložisek velkého průměru zajistilo návrh konstrukčního řešení otočných lopatových rypadel.

Hydraulická lopatová rypadla jsou cyklicky pracující, samohybné stroje, které svým pracovním zařízením nabírají materiál a tento nakládají do dopravních prostředků nebo jiných zařízení. Primární výbavou je lopata avšak možnosti hydraulického ovládání dávají pestrou paletu využití dalších přídatných okruhů např. pro drapáky, nůžky, vrtáky. Zvláštní kapitolou by se dalo vystihnout využití hydraulických kladiv. Přídatné okruhy jsou jednoduše doplňovány dalšími sekcemi hydraulického rozvaděče a doplněné vedením ke konci výložníku. Hlavní hydraulické čerpadlo bývá dimenzováno na využití uvedených zařízení.

Hydraulická lopatová rypadla jsou určena primárně k rozpojování a nakládání zemin, zpravidla I. až IV. třídy popř. jiných materiálů obdobných vlastností – rašeliny, uhlí, odstřeleného nebo jinak rozrušeného kameniva, vysokopeční strusky, stavební suti atd.

Základním parametrem pro posouzení lopatového rypadla je jeho hmotnost a objem lopaty, případně nosnost při využití jiných přídatných zařízení. Dále je výběr stroje posuzován podle manévrovacích prostorů. Zde je parametrem převážně oblast využití a dle toho zvolený typ podvozku, zda pásový či kolový.

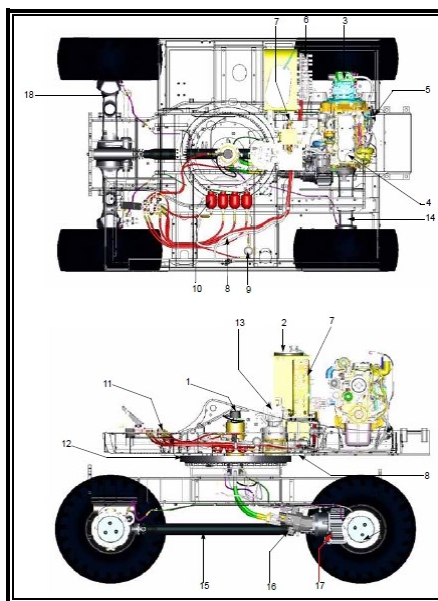
2.3 Rozdělení lopatových rypadel

Lopatové rypadla se liší konstrukčním řešením pracovního zařízení a řešením podvozku. Výsledkem jsou odlišné možnosti práce jednotlivých strojů.

- Dle typu podvozku
 - Pásové
 - Kolové (kolejové)
- Dle velikosti a primárního způsobu použití
 - Mini a kompaktní rypadla
 - Střední pásové a kolová rypadla
 - Obří rypadla
 - Demoliční rypadla
 - Rypadlonakladače

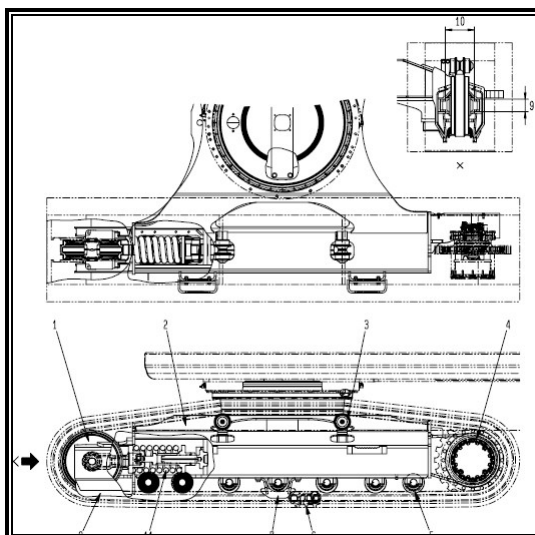
2.3.1 Podvozek

Kolové podvozky mají uplatnění u rypadel menších hmotností. U mini a kompaktních rypadel se ovšem výhradně užívají pásy z důvodu nízkého měrného tlaku na podklad, kde stroj pracuje a pro neefektivní vlastní přesun. Právě přesun po pozemní komunikaci je hlavním smyslem uplatnění kolového podvozku. Stroje musí vyhovovat všem podmínkám kladeným pro provoz po pozemních komunikacích.



Obrázek 2.1 - schéma kolového podvozku

Pásové podvozky mají uplatnění u strojů větších hmotností. Mají výrazně lepší průchodnost terénem a splní nižší nároky pro únosnost. Navíc u některých strojů lze provést výměnu za pásy z větší šíří a rypadlo lze použít do terénu o nejmenších únosnostech.



Obrázek 2.2 - schéma pásového podvozku

Součástí obou typů podvozku bývá pohon pomocí hydromotorů. U kolových podvozků bývá redukováný – převodovka, diferenciály a konečné převody. U pásových se ve většině užívá samostatného hydromotoru s namontovaným koncovým převodem pro každý pás zvlášť.

2.3.2 Otočná stavba

Součástí horní otočné stavby bývají zpravidla všechny podpůrné a pohonné mechanismy. Jde zvláště o pohon stroje, hydraulický systém, chladiče a kabinu s řídicími prvky. Horní otočná stavba bývá připojena k podvozku a má s ním propojené systémy hydraulického a elektrického systému stroje (ve výjimečných případech i rozvod tlakového vzduchu) pomocí otočného převaděče.

Horní otočná stavba zajišťuje plně celý chod stroje, jeho ovládání, kontrolu a obsluhu. Hydraulická lopatová rypadla mohou být řešena stavebnicově, kde potom výchozím prvkem je horní otočná stavba, další celky jsou doplňovány dle konstrukčních návrhů.

Horní otočná stavba navíc vykonává jeden z pracovních cyklů stroje a to je natáčení. Při správné volbě parametrů otočného mechanismu s využitím příznivých úhlů otáčení jde dosáhnout zvýšené výkonnosti. Tento poznatek je důležitý jak pro provozovatele, tak pro samotné konstruktéry.

Velmi důležitou součástí horní otočné stavby je protizávaží. Jeho velikost, umístění a tvar je dán velikostí rypných sil, použitým pracovním zařízením, ale také

délkou násady a dalšími faktory. Při jeho určení se vychází z vyšetření silových účinků působících na velkorozměrové radiálně axiální ložisko otáčení horní stavby.

Nakládací mechanismus, který se skládá z výložníku a pracovního nástroje, může být propojen rychloupínacím zařízením pro snadnou výměnu pracovních zařízení. Dále je jeho součástí mechanismus pákového ovládání a přímočaré hydraulické motory (válce). Tyto jednotlivé části mohou být rozdílně uchyceny k sobě navzájem dle různých kinematických požadavků, ovšem jako celek je vše zpravidla uchyceno k rámu stroje.

2.3.3 Pracovní zařízení

Pracovní zařízení vytváří záběr stroje a může být v kombinaci s dalšími změnami pracovního postavení rypadla (pojezd, otočení) či nikoliv. Pro konstrukci pracovního zařízení je nutno vycházet ze síly potřebné k rozpojení zeminy dle vztahu

$$F = k_1 \cdot b \cdot c \quad [\text{N}] \quad (1)$$

kde b – šířka třísky dána šířkou lopaty

c – tloušťka třísky dána hloubkou záběru pracovní nádoby

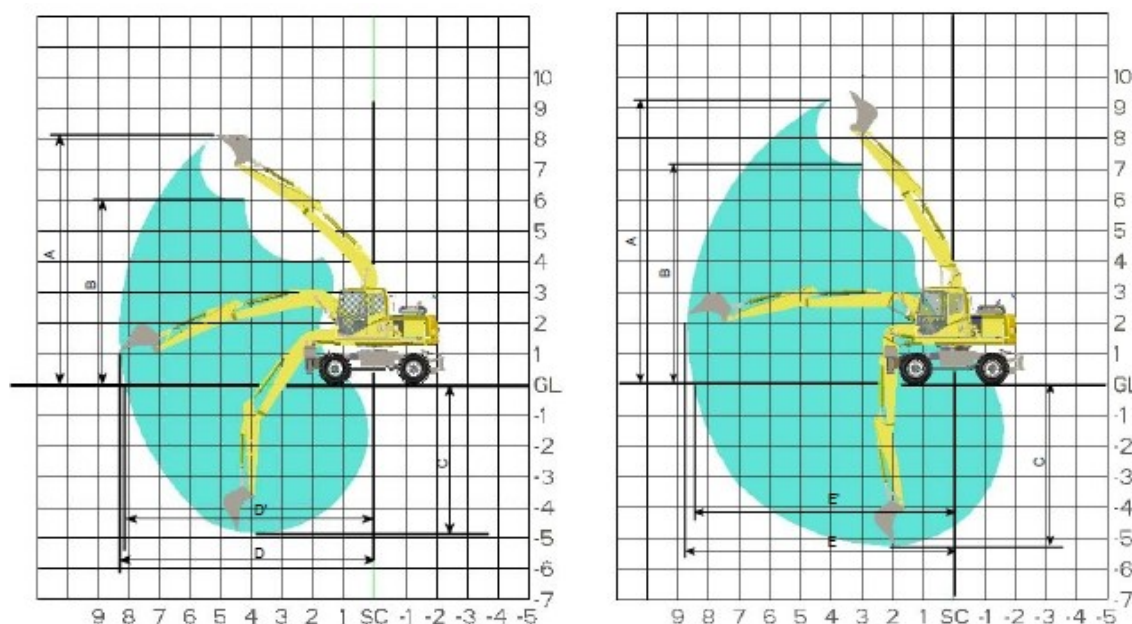
k_1 – součinitel měrného odporu rýpání (rozmezí od 16 kPa u sypkých písků po 450 kPa pro těžké smíšené horniny s kamením a těžký suchý jíl)

Pracovní zařízení se skládá:

- Výložník
- Násada
- Pracovní nástroj (lopata, drapák, hák, kleště, rýhovač, vrtací zařízení, hydraulické bourací kladivo atd.)

2.3.3.1 Výložník

Výložník tvoří základní prvek pracovního prostředí, který nese jeho ostatní části. Konstrukce může být různá. Nejčastěji se setkáváme s výložníkem celistvým, děleným, teleskopickým nebo trojúhelníkovým. Výložníky bývají svařované s příslušně upravených plechů, jejich konce v místech uchycení ať už k rámu stroje (horní otočné nástavbě), nebo v místě zavěšení násady bývají kované. Nutná je ohybová a torzní tuhost.



Obrázek 2.3 Rozdíl v dosahu jednodílného a dvoudílného výložníku na stroji KOMATSU PW140-7

2.3.3.2 Násada

Je to spojovací článek mezi výložníkem a lopatou. Bývají nabízeny v různých délkách a provedení. Hlavně jejich délkou jde podstatně přizpůsobit rypnou sílu, rypnou rychlost a pracovní dosah. Pro alternativní změnu délky násady je hojně využíváno (převážně u rypadlo-nakladačů) teleskopických násad, kde změna délky je plynule měnitelná využitím hydraulického válce v tělese násady.

2.3.4 Lopatová rypadla

Mini a kompaktní rypadla

Jsou to stroje o hmotnostním rozpětí cca 800 – 5000 kg. Jsou určeny pro práce na prostorově omezeném pracovišti. Jejich výkon je dán především rozměry stroje a hlavní uplatnění je spojeno s požadavky investora, nebo provozovatele. Výhody těchto strojů jsou ovšem v jednoduchosti přepravy a samozřejmě v univerzálnosti využití dalších přídatných zařízení.

Kompaktní rypadla řadíme do hmotností 5 – 12 tun. Tyto stroje bývají často vybaveny zkrácenou zádí otočného svršku stroje. Tyto stroje jsou konstrukčně řešeny tak, aby mohly pracovat v bezprostřední blízkosti různých překážek. Zád' otočného svršku nepřesahuje přes průjezdní šíři pasů stroje. Stroje vybaveny přídatným protizávažím mají stejnou stabilitu jako obdobné stroje této hmotností kategorie a jsou

schopny operovat v užším pracovním prostoru. Obsluha stroje se proto nemusí obávat o poškození zadní části otočného svršku a může se plně věnovat práci podkopového zařízení.

Střední rypadla

Jejich hmotnostní zařazení (13-200 t) předurčuje tyto stroje k masivnímu využití při výkopech, nakládce a úpravě zemin převážně u pozemních staveb (komunikace, obytné a administrativní budovy, obslužné a inženýrské sítě, jako i další stavby jako hráze atd.). Tyto stroje jsou velmi pohyblivé a v případě kolového podvozku i mobilní po vlastní ose na střední vzdálenosti (pokud není v dané zemi tato možnost eliminována zákonem). Vzhledem k hmotnosti jsou vysoce výkonná díky velké rychlosti a značné síle pracovního zařízení, nenáročná na údržbu, spolehlivá a mají vysoký komfort pro obsluhu. Bývají vysoce univerzální při využití přídatných zařízení a také některé produkty jsou osazeny zkrácenou zádí při zachování stability. Je ovšem nutno podotknout, že rypná síla stroje se zkrácenou zádí je částečně omezena v porovnání se standardním strojem téže hmotnosti.



Obrázek 2.4 - kolové rypadlo

Obří rypadla

Tyto stroje z důvodů své velikosti a hmotnosti (250-700t) jsou primárně určeny do dolů a lomů k těžbě. Osazují se také čelní lopatou a jejich konstrukce zohledňuje požadavky vysoké produktivity při lomové těžbě.



Obrázek 2.5 - obří (lomové) rypadlo

Demoliční rypadla

Speciálními variantami pásových rypadel jsou demoliční stroje. Upínací mechanismy nabízí demoliční nůžky, kleště či drtící čelisti montované jednak na běžných výložnících a násadách rypadel, ale také na speciálních prodloužených pracovních zařízeních umožňujících výškový dosah pro demolice až 40 metrů. High Reach Demolition, jak zní anglický název, se skládá ze speciálního prodlouženého výložníku, středního mezičlánku, prodloužené násady a pracovního zařízení. Vlastní rypadlo má pro potřeby demolice v nejvyšších výškách zesílený rám stroje, ochranný rám kabiny, přídavné hydraulické okruhy a u největších modelů i opěrné patky stroje pro zlepšení stability.



Obrázek 2.6 - demoliční rypadlo

Použití demoličních rypadel je stále oblíbenějším způsobem odstraňování starých staveb a budov především z důvodu vysoké efektivity, větší šetrnosti k okolí,

nižší prašnosti a nebezpečnosti a u některých druhů staveb často i jediným možným způsobem jejich likvidace

Rypadlonakladače

Tyto univerzální stroje pro použití při stavebních a zemních pracích jsou dnes nejpoužívanějšími stroji vybavené hydraulickým lopatovým rypadlem. Jejich předností je vysoký výkon vzhledem k tak malému stroji, univerzálnost použití zadního podkopového zařízení s možností využít přídatná zařízení a samozřejmě dostupná cena. Nevýhodou je omezené otočné rozpětí podkopu díky uchycení na pevném rámu.



Obrázek 2.7 - rypadlo-nakladač

2.4.1 Kolové lopatové rypadlo KOMATSU PW180-7E0

Kolové lopatové rypadlo KOMATSU PW180-7E0 je jedním z klíčových modelů kolových rypadel této značky. Vyznačuje se vysokou mobilitou a velkými pracovními dosahy při zachování vynikající stability.

Konstrukční charakteristiky tohoto stroje jsou postaveny dle požadavků na stroje pro zemní práce, manipulaci, ale také plní požadavky dalších průmyslových odvětví s možnostmi využití až dvou nezávislých přídatných okruhů.

Rypadlo je osazeno motorem KOMATSU SAA4D107E-1. Jde o 4-dobý vodou chlazený přeplňovaný vznětový motor. Pojezd je zabezpečen hydrostatickým převodovým ústrojím zabezpečeným hlavní hydraulickou pumpou a axiálním hydromotorem s naklápěcím blokem. Dále je osazen elektrohydraulicky ovládanou

dvoustupňovou převodovkou, přepínatelnou pod plným zatížením. Pohon náprav je realizován přes diferenciály v obou nápravách a koncové náhony na dvoumontáže kol. Řazení rychlostních stupňů je automatické. Lze ovšem volit i blokaci každého z rychlostních stupňů. Pojezd je navíc vybaven i plazícím režimem.



Obrázek 2.8 - KOMATSU PW180-7E0

Na stroji jsou instalována dvě hydraulická čerpadla, která jsou určena pro pohon a ovládání všech systémů stroje. Druhé čerpadlo je využíváno na zajištění řízení, brzdění a zabezpečuje tlak v ovládacím systému celého stroje. Tyto systémy používají stejnou hydraulickou náplň, ale z provozního hlediska jsou nezávislé.

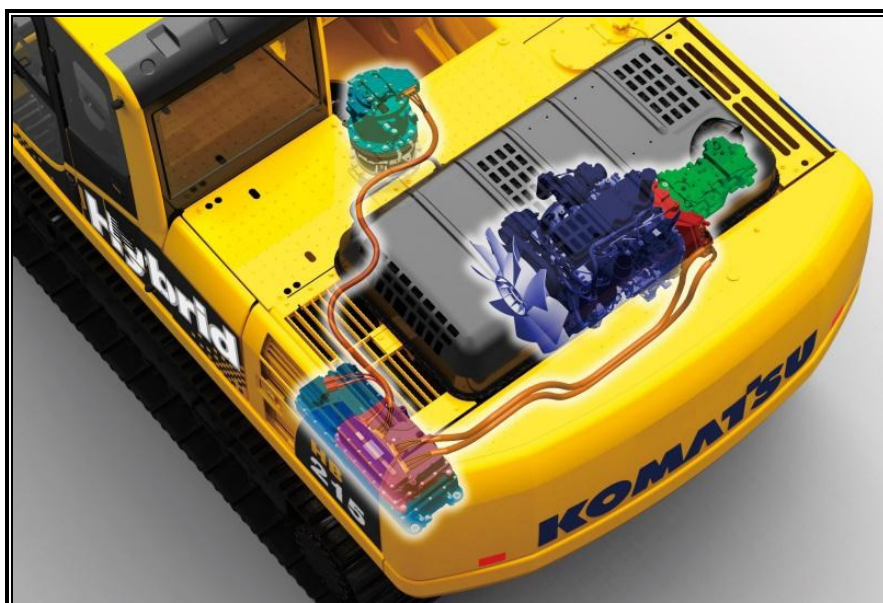
3. Definice úkolu a směr jeho řešení

V této diplomové práci se zabývám rekuperací hydraulické energie u mobilní techniky pro zemní práce, konkrétně kolového lopatového rypadla. Tato problematika je dnes velmi živá, diskutovaná a z hlediska úspory paliva velice žádoucí pro koncového provozovatele. Neopomenutelným prvkem rekuperace je dopad na životní prostředí spojený s nižší spotřebou pohonných hmot a také emisí CO_2 .

V současnosti se průmyslově zkoumají a dodávají do strojů pro zemní práce tři systémy rekuperace. Některé z těchto systémů se využívají i v jiných průmyslových odvětvích.

Elektrická rekuperace

Zde systém pracuje na základě převodu kinematické energie na energii elektrickou. Součástmi systému jsou elektromotor umožňující práci generátoru, usměrňovač, kabelové vedení a ultrakapacitor (vysokokapacitní kondenzátor). V současnosti jsou v praxi uvedeny dva systémy pracující na podobném principu. Jeden využívá pro pohon otočné stavby hydromotor, který je spojen s elektromotorem a kombinuje rekuperaci a pohon dle potřebných kritérií. Druhý vypouští ze systému otáčení horní stavby hydrauliku a pohon je řešen pouze elektricky. Naakumulovaný náboj se následně používá na pohon elektromotoru otočné stavby nebo pomocí elektrické pohonné jednotky vsazené mezi spalovací motor a čerpadlo odlehčuje výkon spalovacího motoru. Díky této operaci dochází k úspoře paliva a emisí CO_2 .



Obrázek 3.1 - hybridní systém KOMATSU

Rekuperace prostřednictvím setrvačníku

V tomto případě se hybnost stroje převádí na hybnost setrvačníku. Celý proces je zprostředkovaný přes spojku a převod, který zabezpečí vysoké otáčky setrvačníku. Určující je v tomto případě jeho moment setrvačnosti a jako ideální se jeví setrvačník ve tvaru prstenu, který si při malé hmotnosti zachovává vysoký moment setrvačnosti. Nevýhodou tohoto systému je fakt, že setrvačník nedokáže stroj zastavit, ale pouze ho zpomalit. Další nevýhodou jsou gyroskopické síly, které při rotujícím setrvačníku vznikají.

Tlaková rekuperace

Moderně pojatý systém využívá proudící kapalinu jako píst, která jakožto nestlačitelná v nádobách stlačuje pracovní plyn. Díky narůstajícímu tlaku plynu má tento systém efekt vzrůstajícího brzdícího odporu. Průběh brzdící síly lze seřizovat zadaným plnicím tlakem plynu v nádobě a množství naakumulované energie je závislé také na objemu nádoby. Pracovnímu plynu je nutno věnovat větší pozornost, protože u něj dochází při stlačení k nárůstu teploty až na hranici 100°C.

Tento systém se také stal motivem mé práce a vodítkem při návrhu mého zařízení primárně určeného jako nadstandardní doplňkové řešení pro zemní stroje. Všechny zmíněné systémy vyžadují hlubokou implementaci do původního stroje, které v podstatě vede ke stavbě unikátního stroje s pevně daným konstrukčním řešením. Hybridní technologii nelze v tomto případě osadit jako doplněk, ale je jedním z hlavních pohonných prvků daného stroje. Výrobce proto je nucen dodávat i model klasické koncepce, aby pokryl aktuální poptávku na trhu.

Zařízení, které je navrženo v této práci se pokouší protlačit hybridní technologii do klasické koncepce při zachování všech dosavadních parametrů a neubírajíc žádnou z dominantních a bezpečnostních vlastností stroje. Je primárně navrženo jako nástavba, která má provozovateli přinést úsporu ve spotřebě paliva a také šetřit již zmíněné životní prostředí snížením emisí plynu CO₂ ve výfukových spalínách motoru.

Po technické stránce je v této práci rozebrána brzdná energie otočné horní stavby. Návrh hydraulického schémata rekuperačního systému, který je napojen do systému stávajícího a využívá v maximální míře používané prvky stávajícího systému. Většina doplněných prvků je vybrána z jiných systémů téhož výrobce z důvodů kompatibility a provozní ověřitelnosti.

Při zpracování práce byl sestaven rovněž prototyp zařízení, který z důvodů finančního omezení nebyl proveden v plně univerzální verzi. Práce proto pojednává při výpočtech s konkrétním hmotnostními, konstrukčními a dalšími relevantními údaji, které se vztahují na použitý stroj KOMATSU PW180-7E0. Prototyp byl primárně navržen pro ověření funkce celého systému, proto i jeho výkonnost nebyla hlavní výstupní hodnotou celého zařízení.

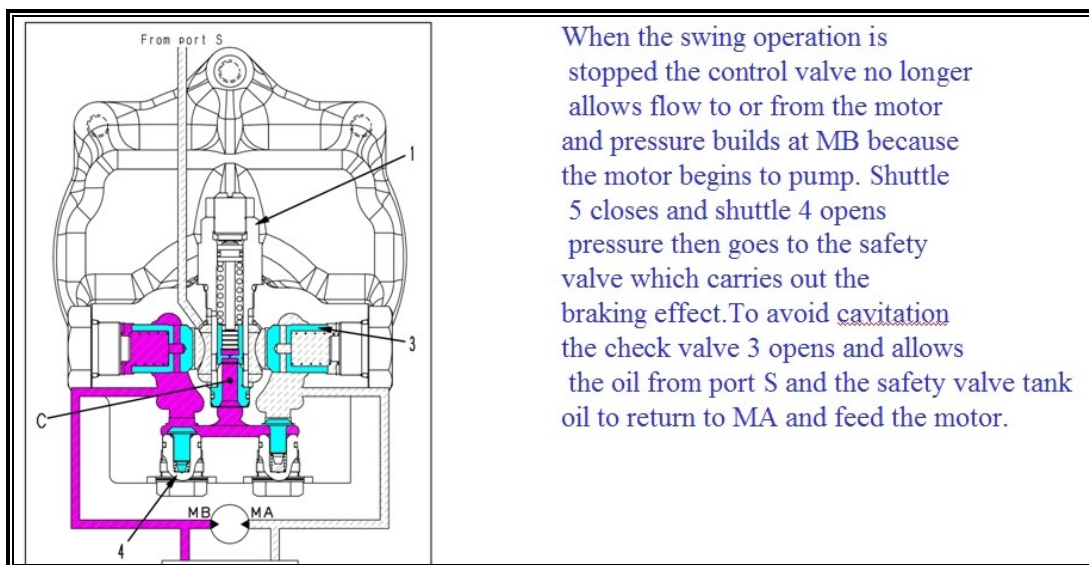
Pro návrh zařízení jsem využil všech znalostí nabytých studiem vysoké školy a dokázal využít tyto poznatky v praxi. Samotné zařízení jsem také sám navrhl a z větší části vyrobil, sestavil, zkompletoval, namontoval na zkoušený stroj a provedl finální diagnostiku, měření a zhodnocení všech potřebných údajů. Část zařízení byla vyrobena subdodavateli a pro elektronické ovládání bylo využito komerčně dostupných prostředků ovládací techniky pro mobilní stroje.

4. Návrh konstrukčního řešení rekuperačního zařízení

Problematika pohonu otáčení horní stavby

Hydraulická rypadla bývají zpravidla vybavena hydrostatickým pohonem otáčení horní stavby. Skládá se z pístového axiálního motoru, lamelové brzdy ovládané hydraulicky a převodovky s ozubeným soukolím. Množství a tlak dodávaného média se liší podobně jako systém řízení průtoku.

Proces brzdění roztočeného motoru a tím zároveň celého kompletu otáčení horní stavby je zpravidla řešen reversací procesu motoru, kdy se motor po zastavení přívodu tlakového oleje z původního směru stane čerpadlem ve směru druhém. Samotné brzdění je zajištěno vykonanou prací na překonání pružiny pojistného ventilu a sníženým průtokem skrze něj.



Obrázek 4.1 - Princip brzdy

Návrh využití reversace principu hydraulického motoru

Horní stavba stroje použitého k návrhu rekuperačního zařízení KOMATSU PW180-7 se může dle servisního manuálu potočit až o 102° při brzdicím procesu. Dle výpočtu hydromotor během prvních 20-25° dokáže vyprodukovat až $0,69-0,86 \text{ dm}^3$ (dle údajů o převodových poměrech ozubeného vřence otočné stavby a převodovky pohonu otáčení horní stavby – viz Tabulka 1 a obrázek 4.2) oleje o tlaku až 290 Bar. Maximální tlak je dán nastavením bezpečnostního ventilu použitého k brzdění.

Vzorec výpočtu objemu použitý v Tabulce 1.

$$V = \frac{V_g \cdot I_1 \cdot I_2}{1000} \cdot \frac{\alpha}{360} [dm^3] \quad (2)$$

Kde: V_g hydraulický objem hydromotoru [dm^3]

I_1 převodový poměr převodovky [-]

I_2 převodový poměr ozubeného věnce [-]

α úhel potřebný k zastavení otočné stavby

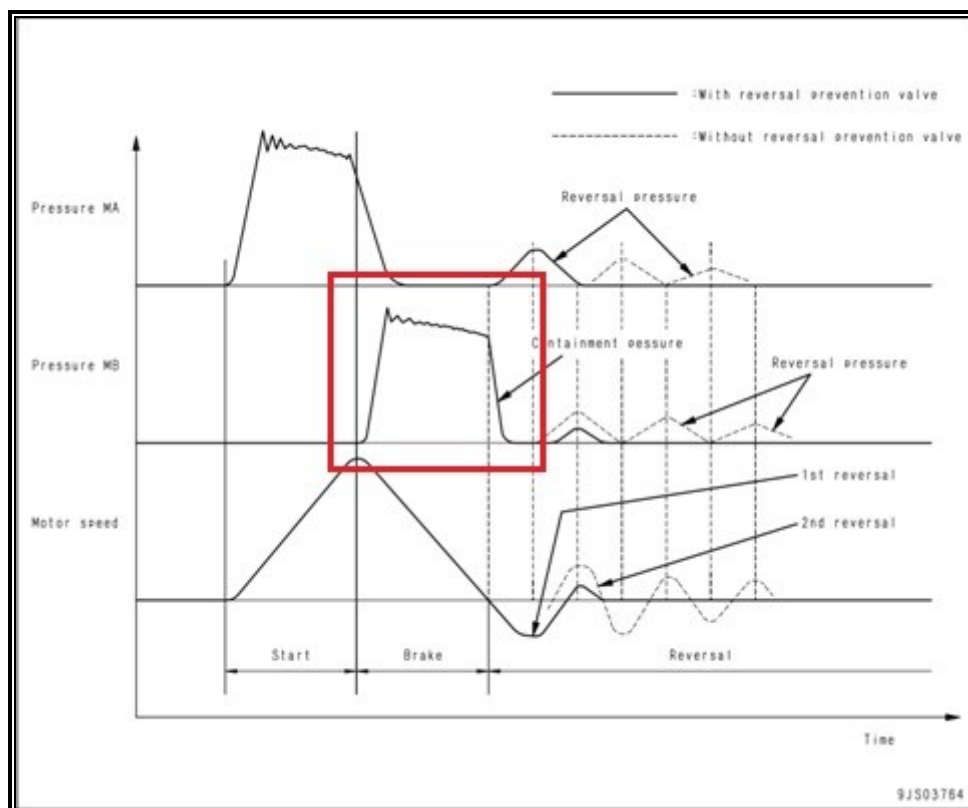
Tabulka 1 - Výpočet objemu vytvořeného HM při reversaci – pro srovnání uvedeny i jiné stroje

KOMATSU		PC210-8		PC240-8		PW180-7	
Objem cc/rev	Vg motor	125	Vg motor	125	Vg motor	87,3	
Převod převodovky	I1	18,627	I	22,689	I	18,627	
Převod věnce	I2	7,385	J	7,077	J	7,615	

stupně	radiany	objem	objem	objem
0	0	0	0	0
10	0,174533	0,47764	0,557535	0,343973
11	0,191986	0,525404	0,613288	0,37837
12	0,20944	0,573168	0,669042	0,412768
13	0,226893	0,620932	0,724795	0,447165
14	0,244346	0,668696	0,780549	0,481562
15	0,261799	0,71646	0,836302	0,51596
16	0,279253	0,764224	0,892056	0,550357
17	0,296706	0,811988	0,947809	0,584754
18	0,314159	0,859752	1,003563	0,619152
19	0,331613	0,907516	1,059316	0,653549
20	0,349066	0,955281	1,11507	0,687946
21	0,366519	1,003045	1,170823	0,722344
22	0,383972	1,050809	1,226577	0,756741
23	0,401426	1,098573	1,28233	0,791138
24	0,418879	1,146337	1,338084	0,825536
25	0,436332	1,194101	1,393837	0,859933
26	0,453786	1,241865	1,449591	0,89433
27	0,471239	1,289629	1,505344	0,928728
28	0,488692	1,337393	1,561098	0,963125
29	0,506145	1,385157	1,616851	0,997522
30	0,523599	1,432921	1,672605	1,03192
40	0,698132	1,910561	2,23014	1,375893
50	0,872665	2,388201	2,787675	1,719866
60	1,047198	2,865842	3,345209	2,063839

Za pomoci využití navrhnutého zařízení lze tuto energii využít k nabití hydraulického akumulátoru. K překonání předtlaku dusíku N_2 v akumulátoru navíc motor vykoná práci, která bude využita podobně jako u bezpečnostního ventilu

k brzdění otáčení horní stavby. Brzdící průběh, je díky adiabatické změně tlaku dusíku N_2 v akumulátoru exponenciální, což vyhovuje provozu stroje.

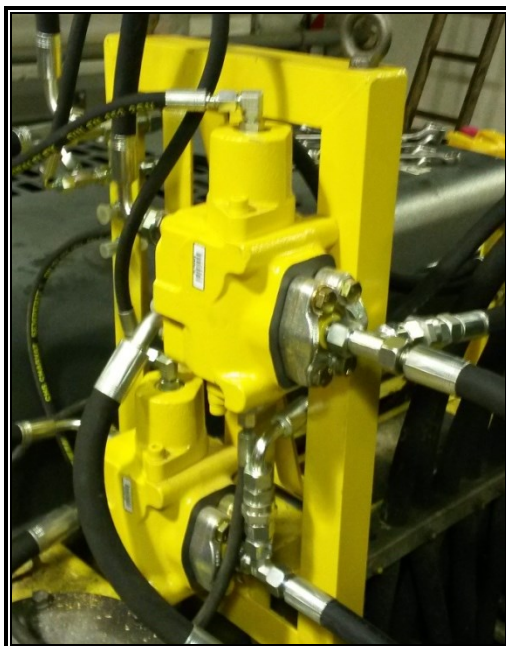


Obrázek 4.2 - Graf tlaku v HM s oblastí využití efektu reversece procesu

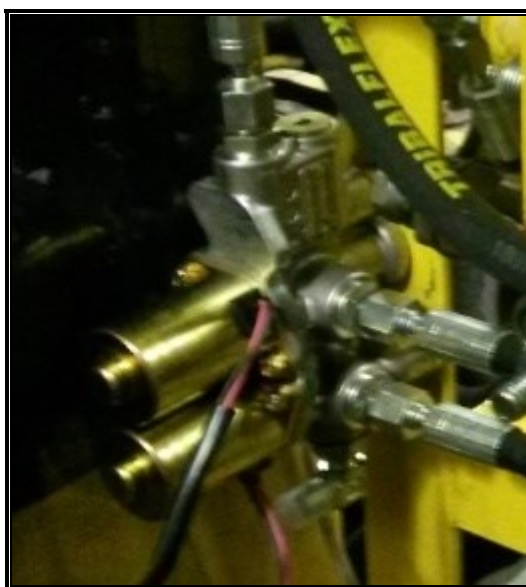
4.1. Návrh hydraulického schémata

Jako první bylo nutno vytvořit funkční schéma celého zařízení, které by bylo jednoduše implementováno do funkčního stroje bez zásahů většího rozsahu. Při úvaze jsem vycházel z funkčních částí jednak stroje a dále prvků používaných na dalších strojích KOMATSU z hlediska kompatibility.

Zejména šlo o přepínací ventily (switch valves – obrázek 4.3), sekci přidavného okruhu z funkčního rozvaděče stejného typu stroje (att valve block – bez vyobrazení) a 24V blok cívek pro ovládání přepínacích ventilů (solenoid valve block – obrázek 4.4).



Obrázek 4.3- přepínací ventily po montáži a napojení

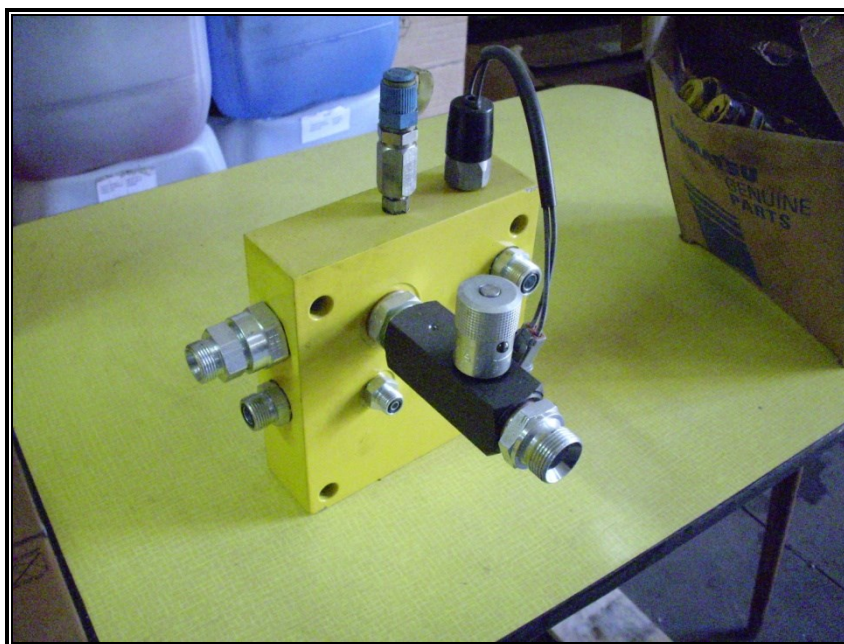


Obrázek 4.4 - blok cívek pro ovládání přepínacích ventilů

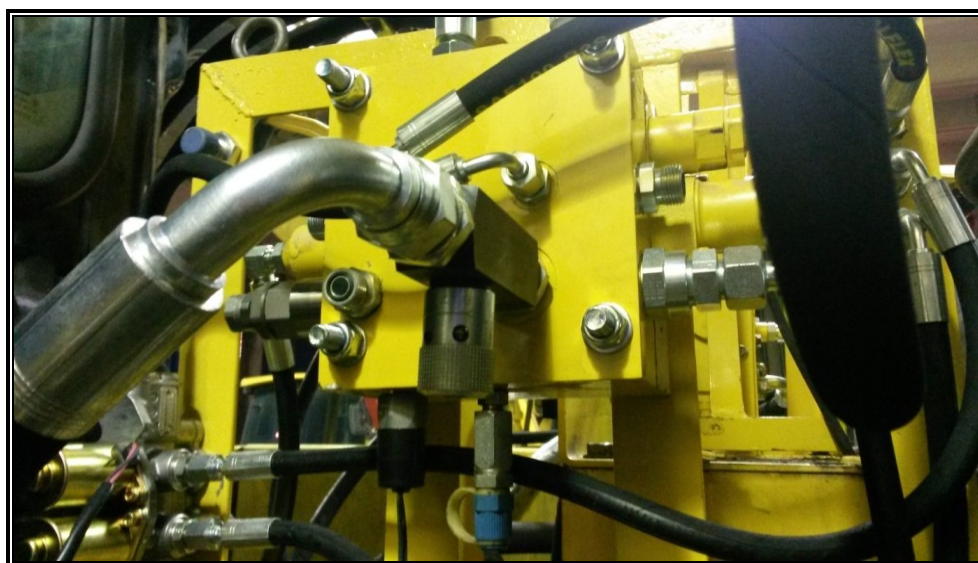
Ostatní prvky potřebné pro funkčnost systému vyobrazeného ve schématu jsou běžně komerčně dostupné (akumulátor, šroubení, hadice, škrťací ventil atd.)

Jedním z nejpodstatnějších funkčních celků celého zařízení je blok sběru tlakového oleje, který slouží k přívodu tlakového oleje do akumulátoru. V kombinaci se sekcí přidavného zařízení slouží dále k rozvodu tlakového oleje na patřičnou funkci při rozjíždění otočné stavby a v poslední řadě slouží jako shromaždiště pro zbytkový odtok ze všech součástí systému. Blok je navržen jako sekce pro umožnění montáže na využitou sekci přidavného okruhu. Blok je osazen závity pro připojení všech potřebných šroubení, škrťacího ventilu, přidavného bezpečnostního ventilu pro ochranu

akumulátoru a navíc jsou v něm navrženy dva kanály pro připojení diagnostických přístrojů. Vzhledem k návrhu elektronického ovládání je to jedno rozpínací tlakové čidlo (originál KOMATSU napájení 24V) a měřící bod pro napojení hydraulického testeru. Název bloku je PTCV blok a vychází jako zkratka z anglicky nazvaného označení Pressure-Tank-Control Valve block (obrázek 4.5 a 4.6). Výrobní výkres PTCV bloku je v přiložené dokumentaci jako příloha A. Celý komplet skládající se z PTCV bloku a přídatné sekce je doplněn utěšňovací deskou. Součástí příloh je i její výrobní výkres – příloha D.



Obrázek 4.5 - PTCV blok se škrtícím ventilem, čidlem a měřícím bodem



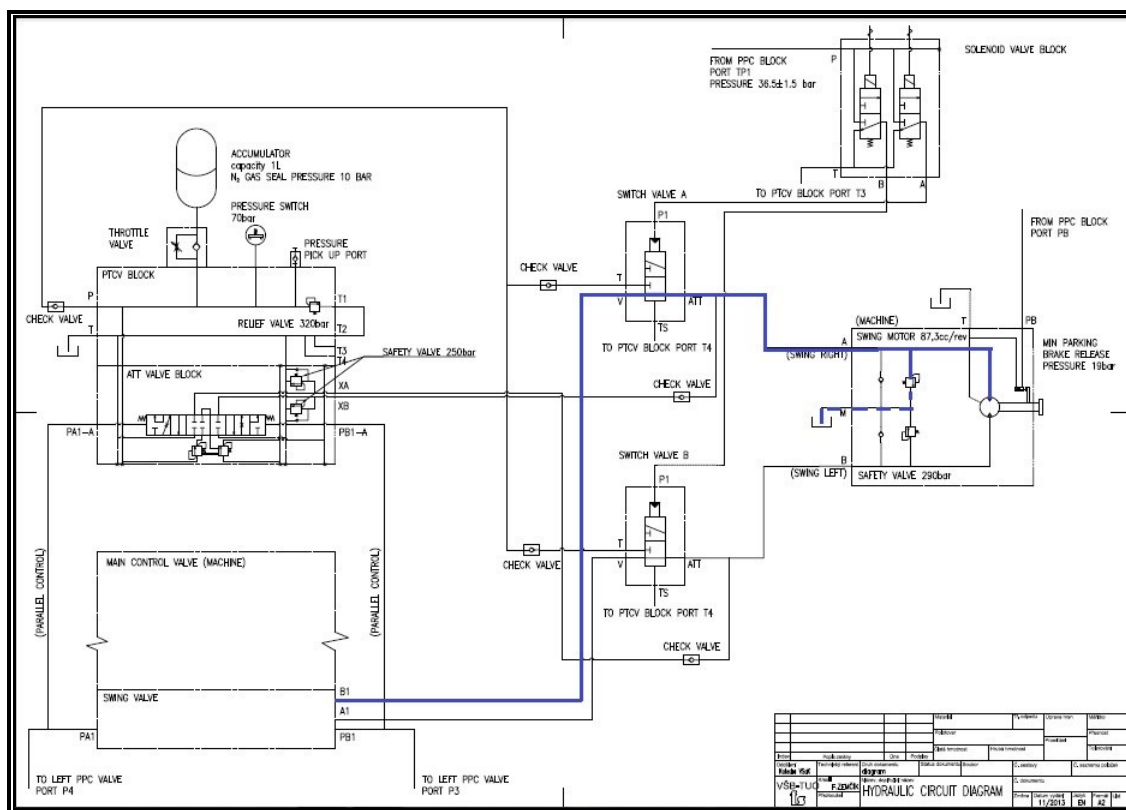
Obrázek 4.6 - PTCV blok na levé podpěře systému

Hydraulické schéma

Dle nabytých zkušeností mechanika stavebních a zemních strojů a samozřejmě studií vysoké školy jsem vypracoval dané schéma z výše uvedených prvků. Schéma jsem několikrát přepracoval a zde je jeho konečná podoba, jaká byla použita pro výrobu prototypu, jak bude uvedeno posléze. Podrobné schéma je součástí příloh F,G.

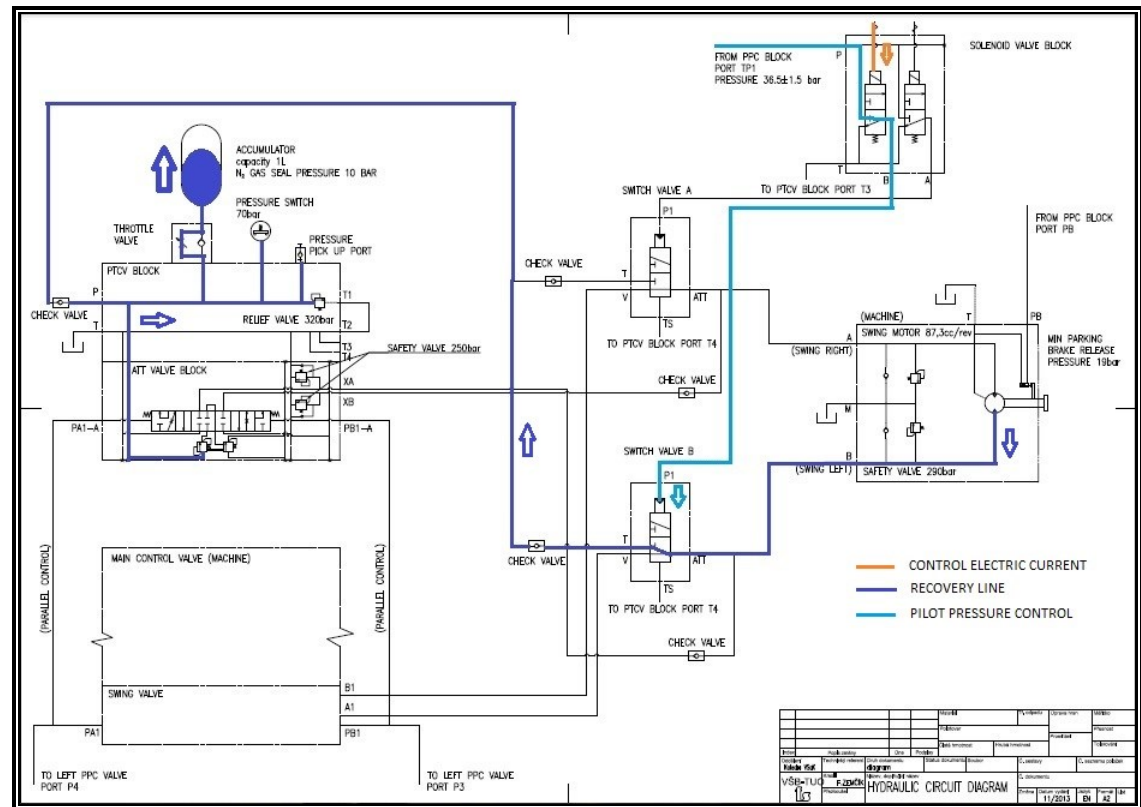
Princip činnosti

Při přerušení otáčení horní stavby se uzavře kanál mezi rozvaděčem stroje (main control valve) a hydromotorem otáčení horní stavby (swing motor). Motor se změní na pumpu a přebytečný tlakový olej odchází bezpečnostním ventilem (safety valve 290bar) do nádrže a horní stavba je brzděna (obrázek 4.7)

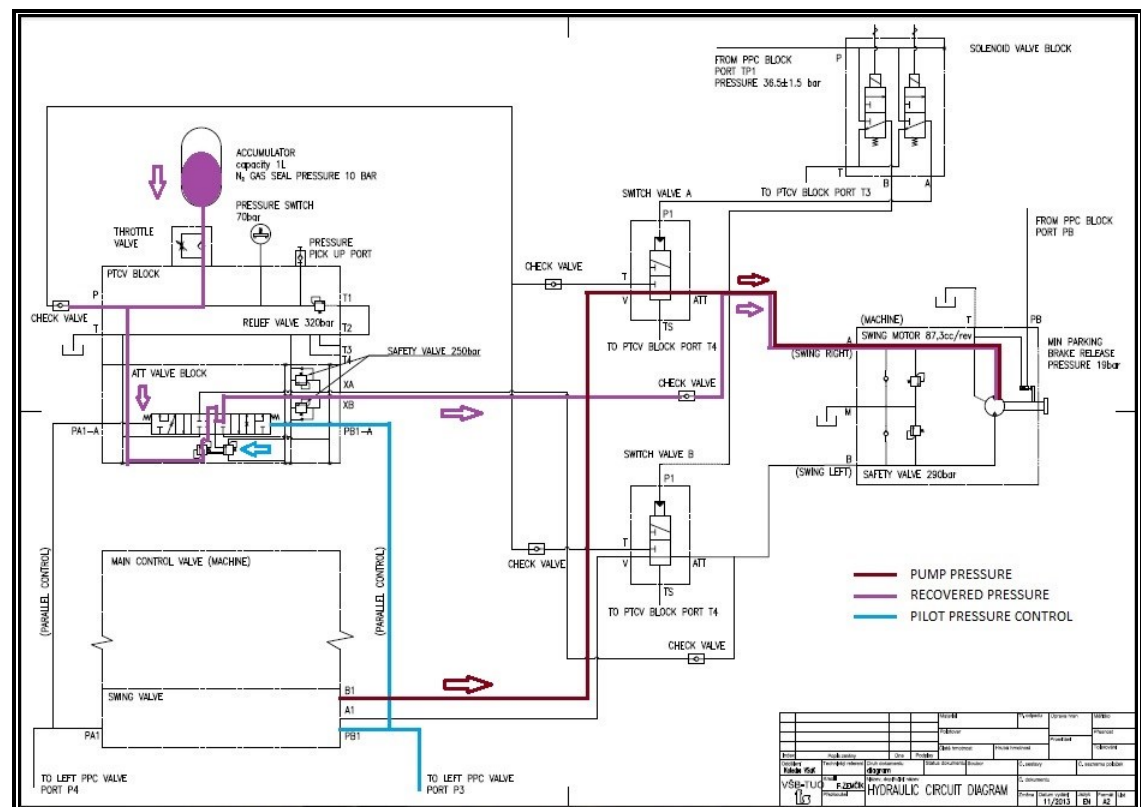


Obrázek 4.7 - brzda otáčení bez rekuperace

V případě využití rekuperačního zařízení ovládací jednotka při přerušení signálu, že je stroj otáčen (zabezpečeno napojením na snímače ovládacích tlaků otáčení horní stavby) vyšle signál na patřičnou cívku v ovládacím bloku. Ovládací tlak přepne přepínací ventil a tlakový olej od hydromotoru proudí do PTCV bloku a je skrze škrťací ventil uskladněn v akumulátoru. Škrťací ventil je do okruhu zapojen z důvodu regulace nabíjení. Jeho zavřením by systém fungoval stejně jako bez akumulátoru. Princip je vyobrazen na obrázku 4.8.



Obrázek 4.8 - nabíjení akumulátoru



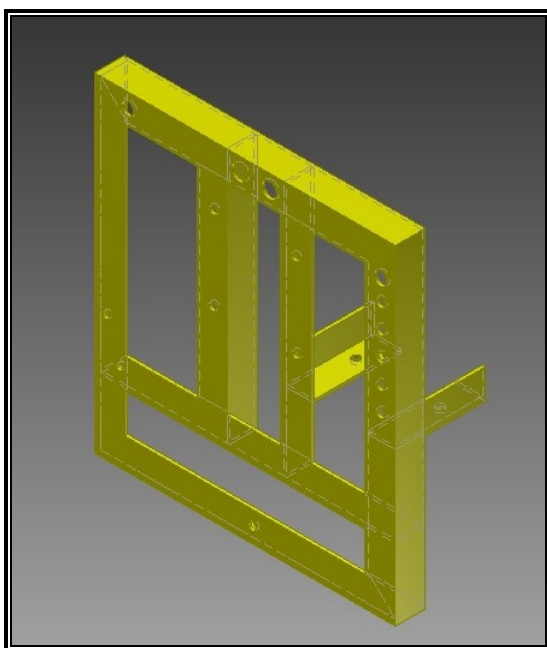
Obrázek 4.9 - využití rekuperované energie

Při následném otáčení horní stavby se díky paralelnímu ovládání šoupátek v rozvaděči stroje a v sekci přídavného okruhu, namontované spolu s PTCV blokem v rekuperačním zařízení, otevře kanál tlakovému oleji (obrázek 4.9) a skrze

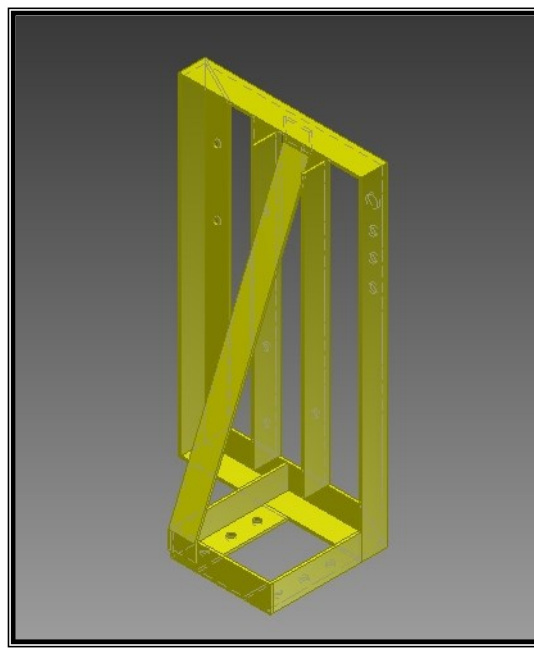
jednosměrný ventil proudí do kanálu pohonu hydromotoru. Tato funkce je automatická a pouze napomáhá rozjezdu hydromotoru. Tímto procesem dochází k požadovanému odlehčení hlavní pumpy a snížení spotřeby paliva.

4.2. Návrh podpěr prvků zařízení

Pro implementaci do požadovaného stroje jsem vymodeloval a vyrobil, či nechal vyrobit dvě podpěry zařízení, včetně nástřiku a veškerých potřebných částí pro upevnění jak k rámu stroje, tak upevnění jednotlivých prvků (obrázek 4.10 a 4.11). Výrobní výkresy jsou součástí přílohy k diplomové práci B a C.



Obrázek 4.10 - levá podpěra zařízení



Obrázek 4.11 - pravá podpěra zařízení

Tyto držáky byly podrobeny frekvenční analýze z důvodů možné rezonance při provozu stroje a také kontrole zatížení pomocí MKP v programu ANSYS Workbench. Tyto zprávy jsou součástí kapitoly 5 – Výpočty.

4.3. Elektronické ovládání

Elektronický ovládací blok rekuperačního zařízení s monitorem

Navržené zařízení slouží ke shromažďování dat ze senzorů ovládacích tlaků pohonu otáčení horní stavby a ze snímače kontroly tlaku akumulátoru umístěného na PTCV bloku rekuperačního zařízení. Dále slouží k napájení ovládacích cívek elektromagnetických ventilů sloužících k přepnutí režimu brzdy otáčení stroje ze standardní na akumulované. Díky regulovatelnému nastavení zpoždění aktivace

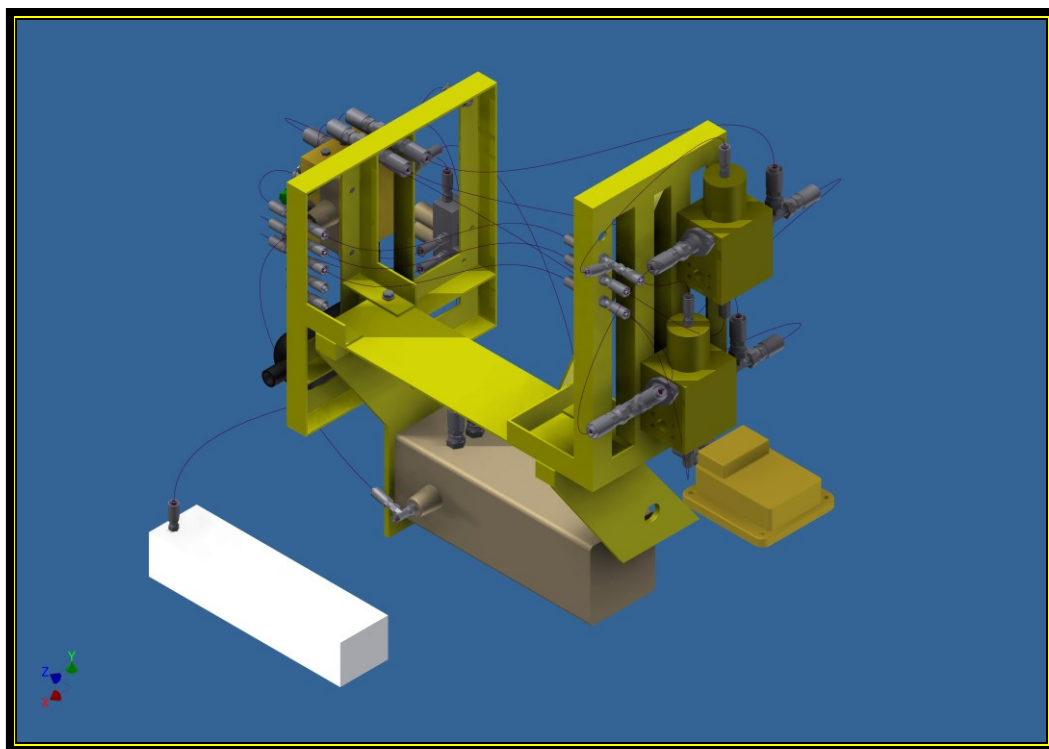
elektromagnetických cívek zde existuje možnost vyladění systému a navíc snímáním délky akce otáčení ve spojení s aktuálním stavem natlakování dochází k maximální možné míře efektivity zajištění správného naakumulování tlakové energie.

Zařízení se skládá z monitorovací a programovatelné logické jednotky, panelu sběru dat pro mobilní stroje v ochraně IP68, napájecího vedení 24V, vedení uzemnění elektronického zařízení, kabeláže pro napojení DT konektorů elektromagnetických cívek a senzoru tlaku a kabelové vedení umožňující napojení na stávající snímače ovládacího tlaku pohonu otáčení horní stavby stroje provedení X-type včetně polovodičových diod.

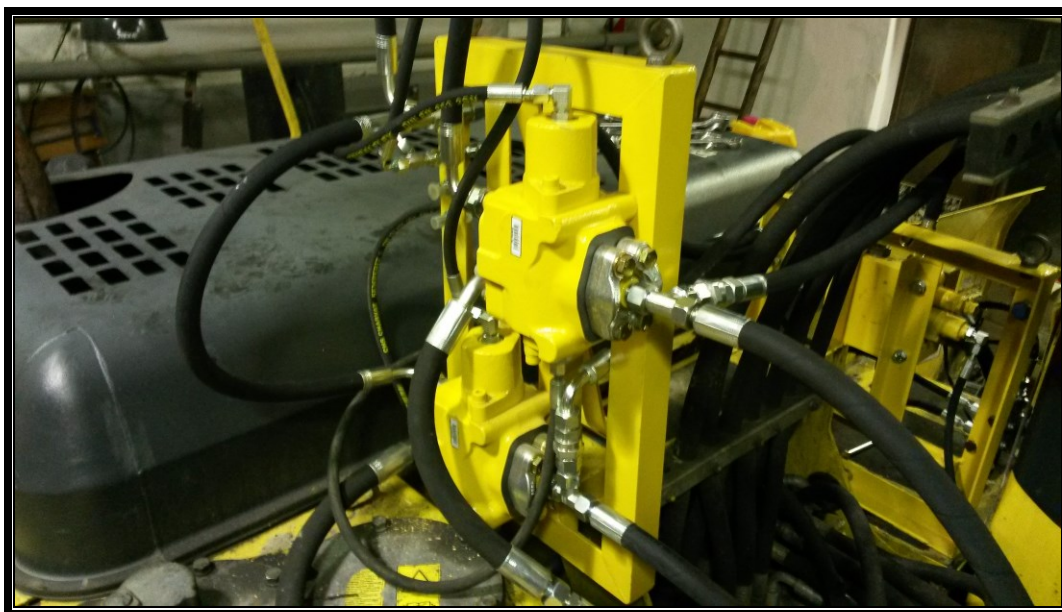
Program jednotky byl dle návrhu logických funkcí a operací vytvořen pracovníkem firmy IFM, která jednotku dodala. Úplný výpis programu je součástí přílohové dokumentace - příloha H.

Program a celá elektronická jednotka zabezpečuje tyto hlavní procesy

- Snímá ovládací tlak otáčení stavby. V případě, že pomine tlak v ovládání (absence povelu k otáčení) jednotka vysílá signál na patřičnou ovládací cívku s ventilem a ovládací tlak přepne přepínací ventil do režimu akumulování. Zpoždění tohoto procesu může být nastaveno se zpožděním až 100 milisekund v kroku 20 milisekund.
- Horní stavba musí mít dostatečnou rychlost, aby proces mohl být efektivní. Jednotka registruje minimální dobu otáčení a ta je nastavitelná. Minimální hodnota je 400 milisekund.
- Délka akumulování je limitovaná na dobu 2 sekund, která plně postačuje k zastavení horní stavby v plné rychlosti.
- Jednotka si hlídá otáčení na obě strany a správně určuje, který ventil má být sepnut.
- Režim akumulace není aktivní, pokud je tlak v akumulátoru nad 70 bar. V tomto případě by proces nebyl efektivní a zařízení se nezapne. Tento tlak je snímán implementovaným snímačem v PTCV bloku.



Obrázek 4.12 - sestava rekuperačního zařízení model Inventor pravý zadní pohled



Obrázek 4.13 -sestava rekuperačního zařízení na stroji

5. Výpočty

5.1 Analýza MKP levé podpěry prvků rekuperačního zařízení

Provedení napěťové analýzy levé podpěry se zatížením odpovídající uchycení rozváděcího bloku. Kompletní blok nahrazen hmotným bodem. Výpočet maximálního redukovaného napětí vyloučí možnost poškození podpěry během provozu.

Zadané hodnoty:

$$F = 223 \text{ N}$$

Síla „F“ odpovídá tíze rozváděcího bloku dle skutečného zvážení. Ostatní váhově minimální prvky uchycené na podpěře nejsou v tomto výpočtu zohledněny.

$$F = m_{PTCV} \cdot g = 22,73 \cdot 9,81 = 223 \text{ N} \quad (3)$$

kde:

m_{PTCV} – hmotnost PTCV bloku

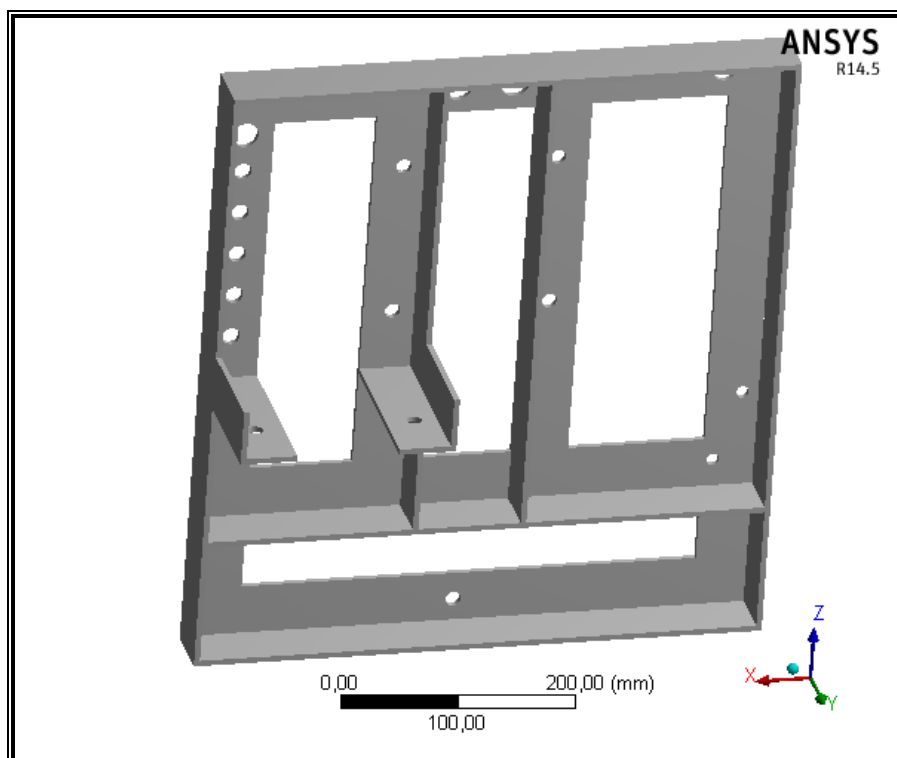
g – tíhové zrychlení

Rozměry dle geometrie výkresu levé podpěry.

Materiál je ocel 11423 dále určena následující tabulkou

Tabulka 2 - Vlastnosti materiálu

Veličina	hodnota
Modul pružnosti v tahu	$2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
Poissonova konstanta	0,3
Měrná hmotnost	$7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Mez kluzu	226 MPa
Mez pevnosti	410-520 MPa



Obrázek 5.1 – levá podpěra

Příprava modelu levé podpěry k výpočtu.

Velikost sítě byla navržena s ohledem na lokalizaci a koncentraci očekávaných špiček napětí. Lokální zahuštění sítě nebylo nutno realizovat. Nejvyšší napětí bylo zobrazeno bez známky singularity, jak v místech jeho předpokládaného výskytu, tak ani na jiných částech podpěry. Přesné rozměry podpěry jsou obsahem výkresové dokumentace - příloha B.

Základní hodnota elementů byla stanovena na 5 mm. Celkový počet uzlů v síti levé podpěry je 62957 a počet elementů 29727.

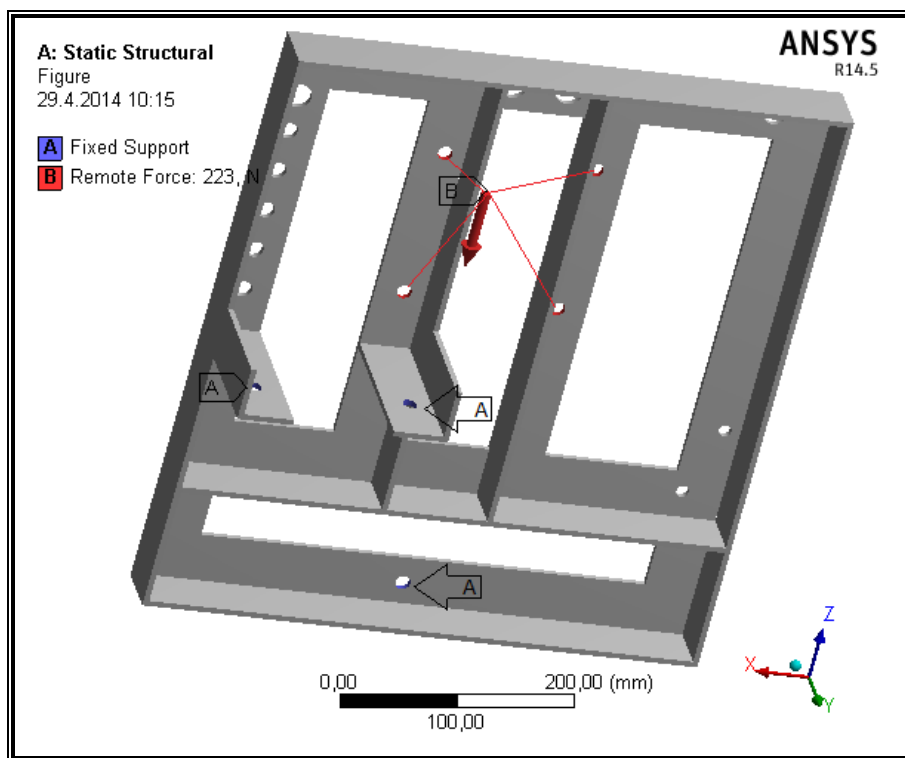
Okrajové podmínky

Podpěra je ke stroji uchycena pomocí tří šroubů M12 k rámu hydraulického rozvaděče. Posuv v axiálním směru je zajištěn. Posuvy v radiálních směrech jsou také vyloučeny. Spojovací místa jsou označena na obrázku 5.2.

- 1) Vnitřní plocha díry pro uchycení šrouby M12 (body A).
- 2) Síla „ F “ (bod B) působí na vnitřní plochy děr uchycení rozváděcího bloku.
Síla je znázorněna v poloze těžiště bloku a výsledkem je moment síly

přenesený šroubovým spojem na podpěru. Znázornění síly v těžišti bylo provedeno z důvodů větší názornosti.

Síla vyvolává reakce v materiálu při zanedbání vlastních tíhových účinků.

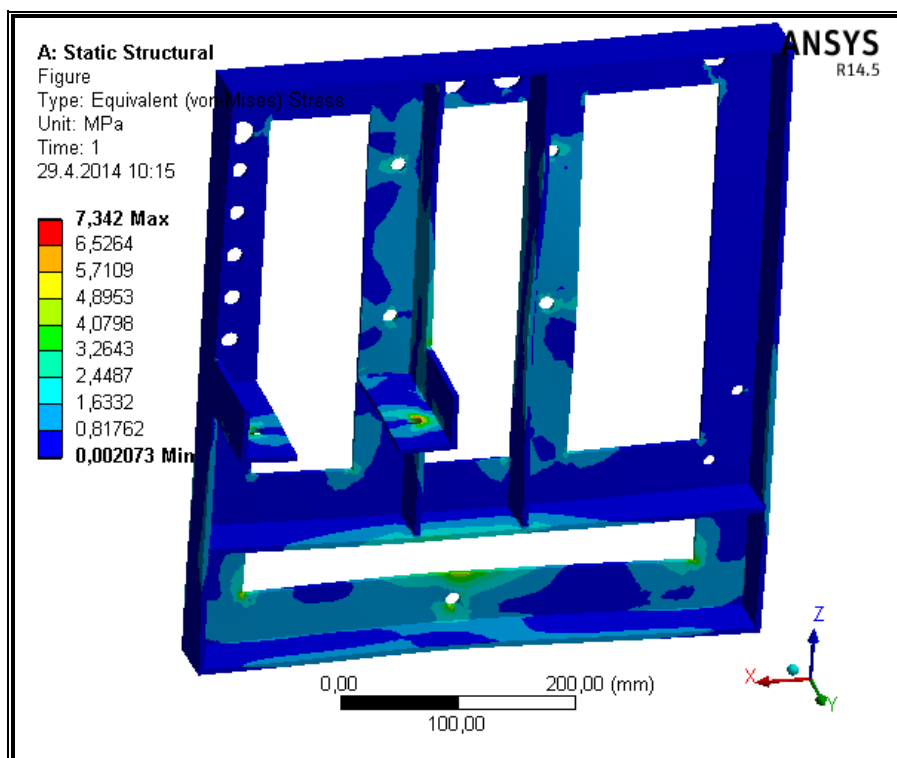


Obrázek 5.2 - okrajové podmínky

Výsledky

Ekvivalentní redukované napětí

Rozložení dle obrázku 5.3. Nejvyšší koncentrace napětí se nachází na vnitřní stěně díry pro uchycení šroubem k rámu. Jeho hodnota je vyhodnocena v závěru výpočtu levé podpěry při daném zatížení.



Obrázek 5.3 – ekvivalentní redukované napětí

Závěr:

Model je zjednodušenou prezentací reality. Situace je řešena staticky. Při použití síly $F = 223 \text{ N}$ je podpěra namáhána maximálním napětím $\sigma = 7,34 \text{ MPa}$ v místě uchycení k rámu stroje. Šroubová vazba je navíc jištěna podložkou. Materiál v levé podpěře prvků zatížený PTCV blokem je namáhán minimálně a během jeho provozu je nepravděpodobné, že by došlo k jeho poškození.

5.2 Analýza MKP pravé podpěry prvků rekuperačního zařízení

Provedení napěťové analýzy pravé podpěry se zatížením odpovídající uchycení dvou přepínacích hydraulicky ovládaných ventilů. Oba ventily jsou nahrazeny hmotným bodem. Výpočet maximálního redukovaného napětí vyloučí možnost poškození podpěry během provozu.

Zadané hodnoty:

$$F = F_2 = 155 \text{ N}$$

Síla „F“ odpovídá tíze přepínacího ventilu dle skutečného zvážení. Ostatní váhově minimální prvky (šroubení) uchycené na podpěře nejsou v tomto výpočtu zohledněny.

$$F = m_{SV} \cdot g = 15,8 \cdot 9,81 = 223N \quad (4)$$

kde:

m_{SV} – hmotnost přepínacího ventilu

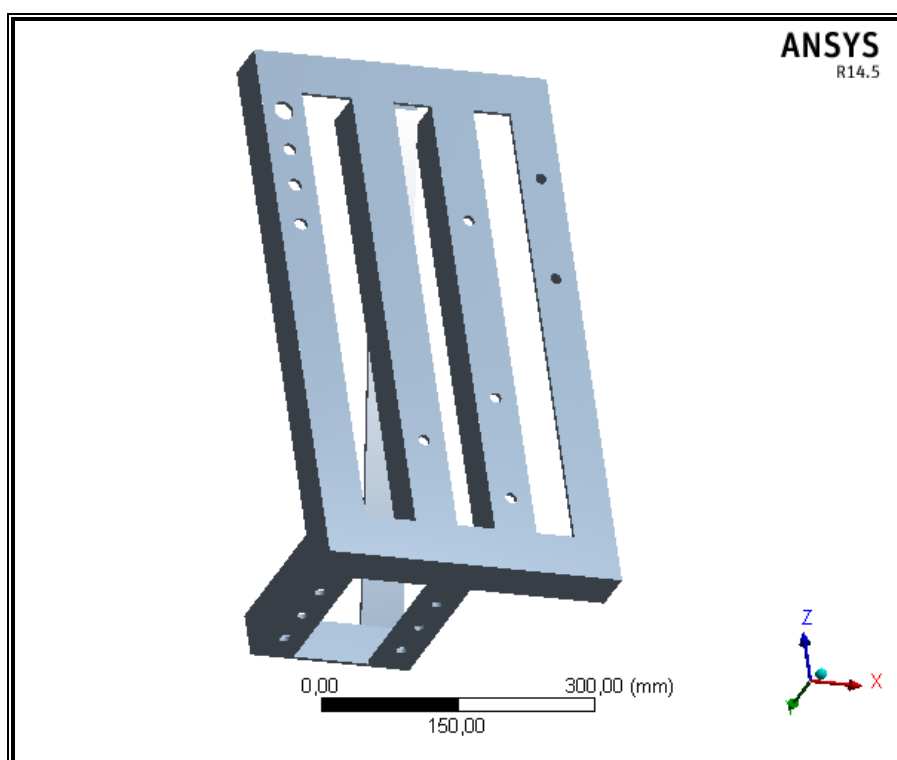
g – tíhové zrychlení

Rozměry dle geometrie výkresu pravé podpěry.

Materiál je ocel 11423 dále určena následující tabulkou

Tabulka 3 - Vlastnosti materiálu

Veličina	hodnota
Modul pružnosti v tahu	$2 \cdot 10^5$ MPa
Poissonova konstanta	0,3
Měrná hmotnost	$7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Mez kluzu	226 MPa
Mez pevnosti	410-520 MPa



Obrázek 5.4 – pravá podpěra

Příprava modelu pravé podpěry k výpočtu.

Velikost sítě byla navržena s ohledem na lokalizaci a koncentraci očekávaných špiček napětí. Lokální zahuštění sítě nebylo nutno realizovat. Nejvyšší napětí bylo zobrazeno bez známky singularity, jak v místech jeho předpokládaného výskytu, tak ani

na jiných částech podpěry. Přesné rozměry podpěry jsou obsahem výkresové dokumentace - příloha C.

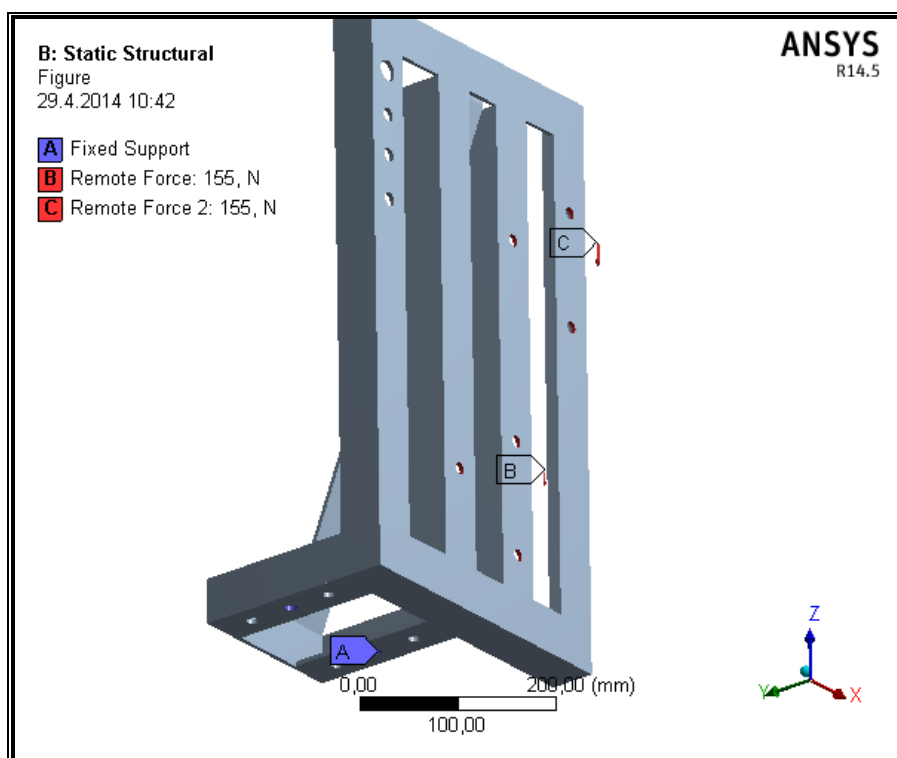
Základní hodnota elementů byla stanovena na 5 mm. Celkový počet uzlů v síti pravé podpěry je 68897 a počet elementů 32275.

Okrajové podmínky

Podpěra je ke stroji uchycena pomocí dvou šroubů M12 k rámu hydraulického rozvaděče. Posuv v axiálním směru je zajištěn. Posuvy v radiálních směrech jsou také vyloučeny. Spojovací místa jsou označena na obrázku 5.5.

- 3) Vnitřní plocha díry pro uchycení šrouby M12 (body A).
- 4) Síla „ F_1 “ a „ F_2 “ (bod B a C) působí na vnitřní plochy děr uchycení přepínacích ventilů. Každá ze sil je znázorněna v poloze těžiště ventilu a výsledkem je moment síly přenesený šroubovým spojem na podpěru. Znázornění síly v těžišti bylo provedeno z důvodů větší názornosti.

Síla vyvolává reakce v materiálu při zanedbání vlastních tíhových účinků.

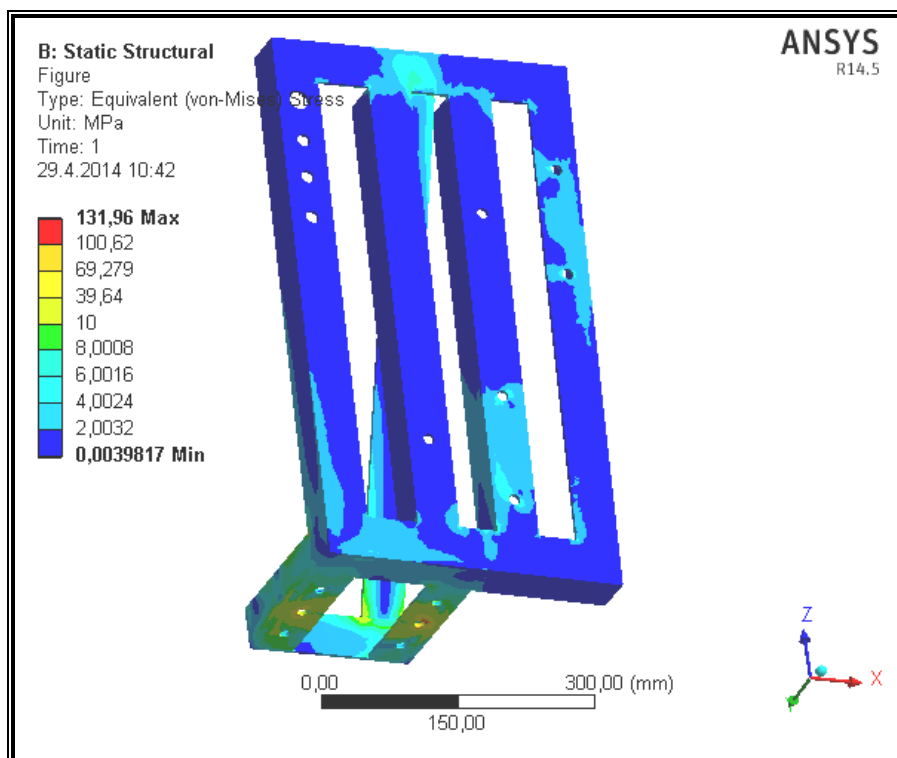


Obrázek 5.5 - okrajové podmínky

Výsledky

Ekvivalentní redukované napětí

Rozložení dle obrázku 5.6. Nejvyšší koncentrace napětí se nachází na vnitřní stěně díry pro uchycení šroubem k rámu. Jeho hodnota je vyhodnocena v závěru výpočtu pravé podpěry při daném zatížení.



Obrázek 5.6 – ekvivalentní redukované napětí

Závěr:

Model je zjednodušenou prezentací reality. Situace je řešena staticky. Při použití dvou sil $F = 155 \text{ N}$ je podpora namáhána maximálním napětím $\sigma = 131,96 \text{ MPa}$ v místě uchycení k rámu stroje. Jde o omezenou špičku redukovaného napětí. Šroubová vazba je v tomto místě pojištěna přídatnou širokou podložkou. Výsledné napětí, které je zobrazeno v omezeném místě uchycení vycházející z okrajových podmínek je ve skutečnosti díky této podložce podstatně nižší. Kritická místa, především spoje konstrukce, jsou dle rozložení napětí namáhána napětím do 10 MPa . Konstrukce pravé podpěry prvků je namáhána minimálně a během jejího provozu je nepravděpodobné, že by došlo k jejímu poškození.

5.3 Analýza MKP tlakového působení v PTCV bloku

Provedení napěťové analýzy vysokotlakého kanálu v PTCV bloku má za cíl odhalit kritická místa konstrukce. Model bloku je zatížen maximálním bezpečnostním tlakem 32 MPa. Výpočet maximálního redukovaného napětí vyloučí možnost poškození bloku během provozu.

Zadané hodnoty:

$$p = 32 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

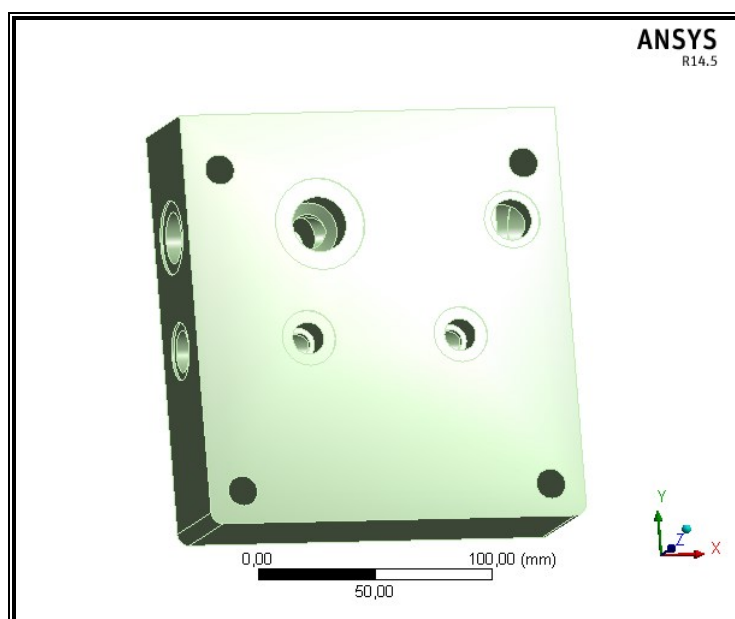
Tlak „p“ odpovídá maximálnímu bezpečnostnímu tlaku ve vysokotlakém kanálu bloku PTCV, který je dán nastavením bezpečnostního ventilu.

Rozměry dle geometrie výkresu PTCV bloku.

Materiál je ocel S335J2 dle ČSN 11503 dále určena následující tabulkou (platí pro tloušťku materiálu 50 mm)

Tabulka 4 - Vlastnosti materiálu

Veličina	hodnota
Modul pružnosti v tahu	$2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$
Poissonova konstanta	0,3
Měrná hmotnost	$7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
Mez kluzu	335 MPa
Mez pevnosti	470-630 MPa



Obrázek 5.7 – PTCV blok

Příprava modelu pravé podpěry k výpočtu.

Velikost sítě byla navržena s ohledem na lokalizaci a koncentraci očekávaných špiček napětí ve vysokotlakém kanálu. Lokální zahuštění sítě nebylo nutno realizovat. Nejvyšší napětí bylo zobrazeno bez známky singularity, jak v místech jeho předpokládaného výskytu, tak ani na jiných částech bloku. Přesné rozměry bloku jsou obsahem výkresové dokumentace - příloha A.

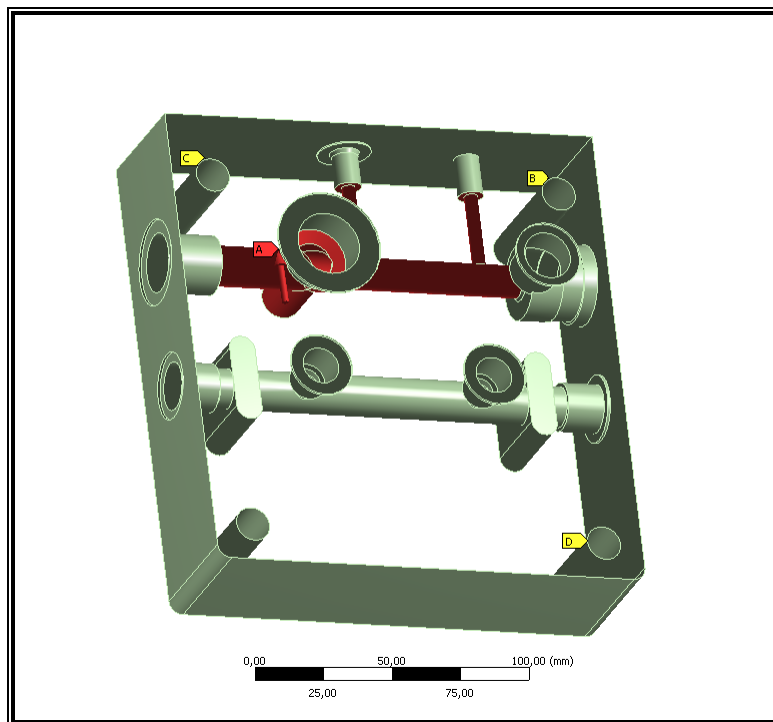
Základní hodnota elementů byla stanovena na 5 mm. Celkový počet uzlů v síti pravé podpěry je 564368 a počet elementů 363200.

Okrajové podmínky

Blok je uchycen pomocí čtyř průběžných šroubů M12 spolu s rozvaděčovou sekcí a těsnící deskou k levé podpěře prvků rekuperačního zařízení. Posuvy ve všech směrech jsou vyloučeny. Spojovací místa jsou označena na obrázku 5.8.

- 5) Hrana díry pro uchycení šrouby M12 (body B,C,D).
- 6) Tlak „p“ (červeně vyznačená plocha – šipka A) působí na vnitřní plochy vysokotlakého kanálu bloku PTCV.

Tlak vyvolává reakce v materiálu při zanedbání vlastních tíhových účinků.

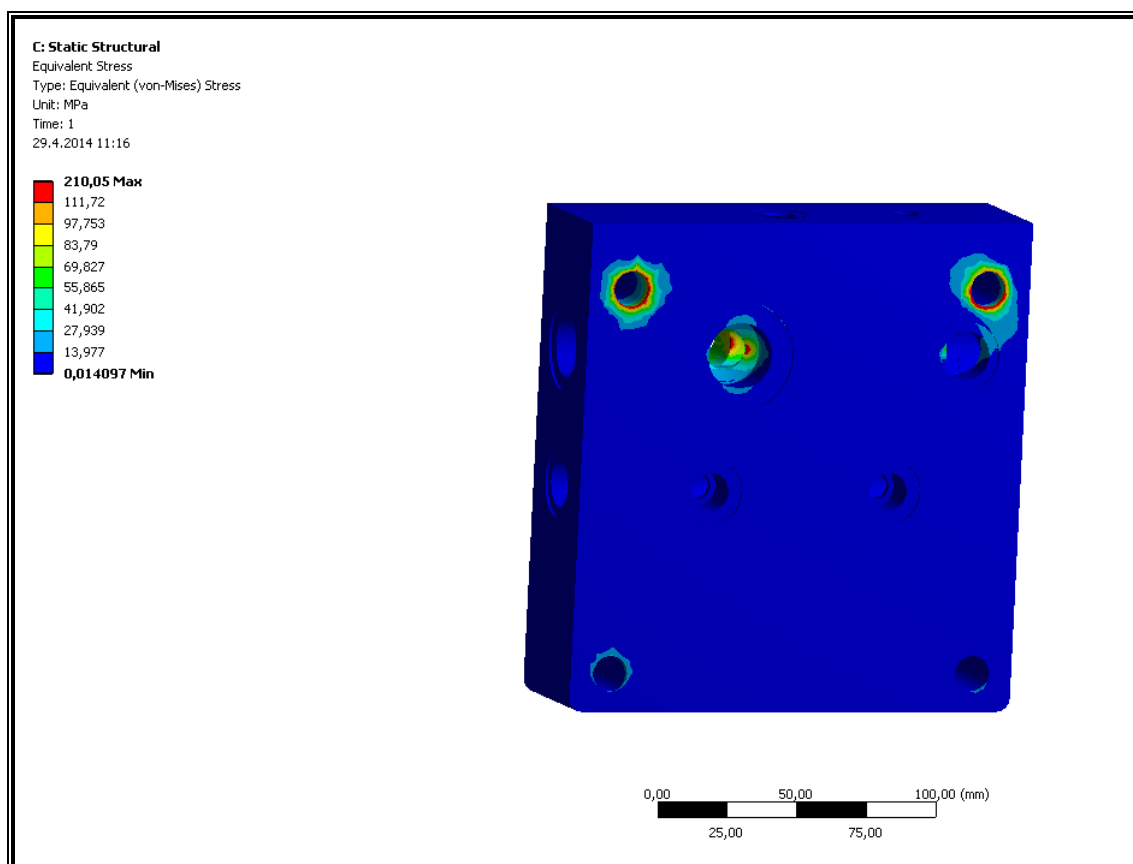


Obrázek 5.8 - okrajové podmínky

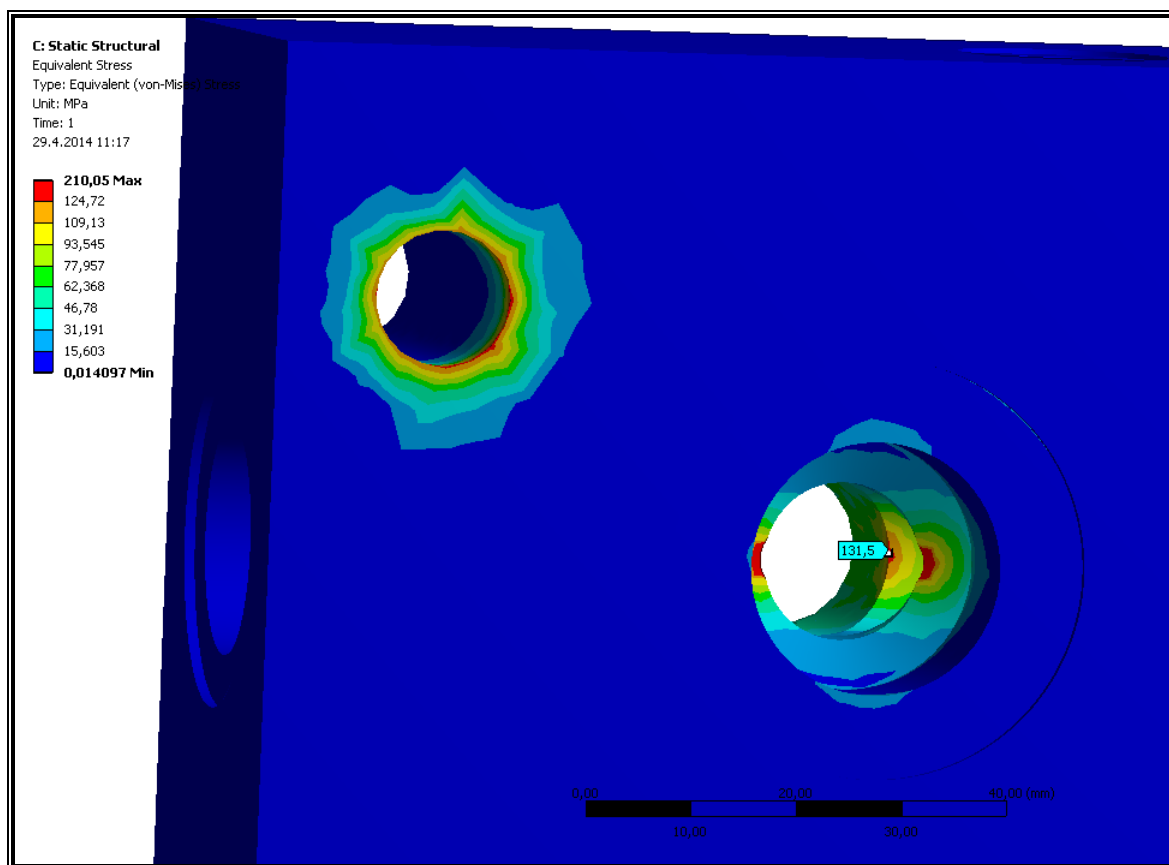
Výsledky

Ekvivalentní redukované napětí

Rozložení dle obrázku 5.9. Nejvyšší koncentrace napětí se nachází na hranách použitého uchycení. Ve skutečnosti blok přiléhá celou plochou k dalšímu prvku a šroubový spoj nepůsobí pouze na hraně díry. Toto uchycení bylo použito pouze z důvodu ukotvení bloku pro potřeby výpočtu. Rozhodující hodnota je vyobrazena v samotném kanálu a označena konkrétní hodnotou viz obrázek 5.10. Vyhodnocení je v závěru výpočtu.



Obrázek 5.9 - ekvivalentní redukované napětí



Obrázek 5.10 – ekvivalentní redukované napětí – detailní vyobrazení

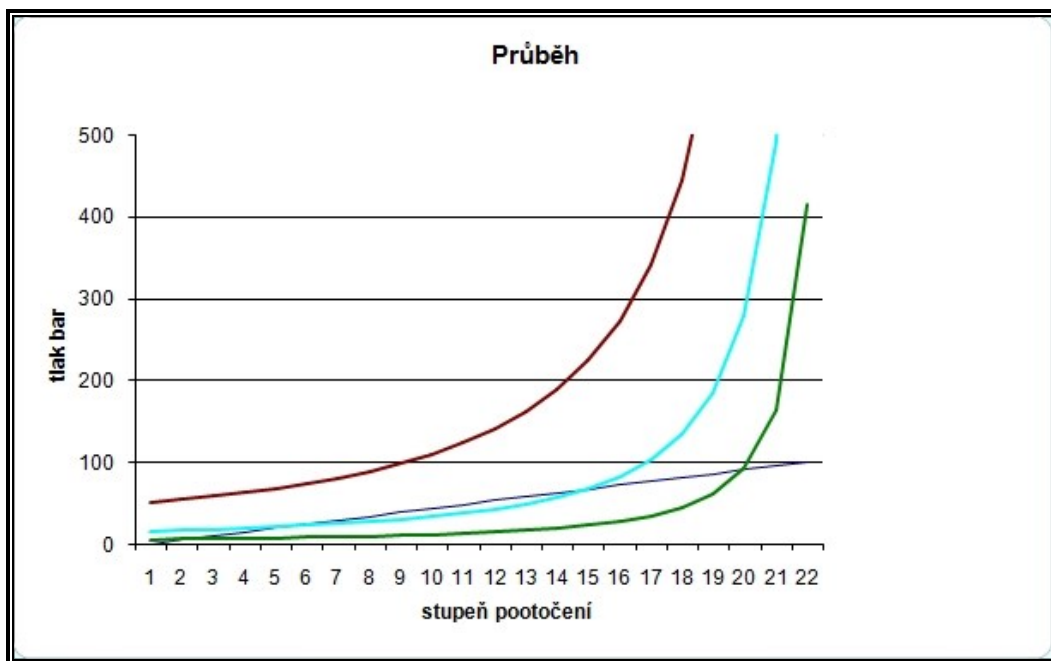
Závěr:

Při použití maximálního bezpečnostního tlaku PTCV bloku je kritická hrana v bloku namáhána maximálním napětím $\sigma = 131,5$ MPa. Použití metody konečných prvků pro tuto analýzu bylo potřebné pro zjištění možného kritického místa. Blok byl navržen dle dostupnosti vysokotlakého kanálu na využití sekci rozvaděče a kvůli celkové jednoduchosti je také osazen odváděcím kanálem. Při použití bezpečnostního koeficientu 2 je dovolené namáhání stále na vyšší úrovni. V provozu je systém navíc jištěn bezpečnostním ventilem hydromotoru otočné stavby, který je nastaven na maximální tlak systému 29 MPa. Z těchto popsanych důvodů je konstrukce bloku v pořádku a k jejímu poškození během provozu nedojde. Úpravy konstrukce není potřeba provést.

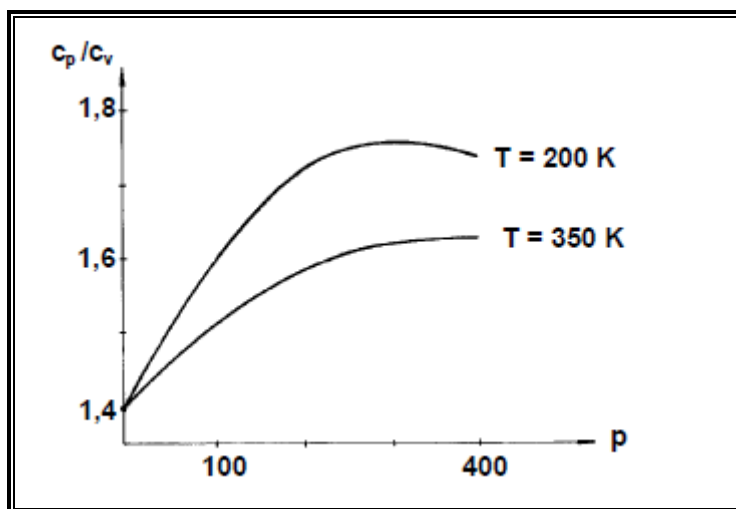
5.4. Výpočet akumulátoru a jeho primárního tlaku

Výpočet akumulátoru je pevně svázán s návrhem prototypu. Kvůli omezeným nákladům je akumulátor navržen pouze pro odzkoušení funkčnosti celého systému a není tudíž navrhován na maximální výkon. Pro účely prototypu jsem navrhnul pouze 1L

Otočná stavba by během procesu vůbec nebrzdila a v momentě naplnění by začal prudce brzdít bezpečnostní ventil. Při tlaku 50 bar je zde vypočítán relativně dobrý nárůst tlaku a tudíž předpoklad solidního brzdného efektu. Zde ovšem dojde k využití pouze 73% objemu. Pro prvotní testování byla zvolena hodnota 15 bar. Zde dojde k dobrému využití objemu akumulátoru (92%) a nárůst tlaku je znatelný. Brzdný účinek nebude vysoký, ale je nutno přihlédnout k faktu, že zde řešíme pouze prvních 20 stupňů pootočení horní stavby stroje.



Obrázek 5.12 - průběh tlaku plynu v akumulátoru dle naplnění



Obrázek 5.13 - odvození adiabatického exponentu

5.5. Analýza brzdné síly

Otočná stavba při otáčení má kinetickou energii. Pro brzdění této rychlosti je potřeba vykonat práci rovnající se energii otočné stavby. Maximální rychlost horní stavby dle prospektu společnosti KOMATSU je dána pěti pootočeními stavby v čase 26 sekund.

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{5,2} = 0,385 \text{ rad. s}^{-1} \quad (6)$$

Pro výpočet energie dále potřebujeme znát hmotnost horní stavby a tím její moment setrvačnosti. Pro výpočet momentu setrvačnosti jsem vycházel z umístění těžiště ve středu otáčení a horní stavbu jsem zjednodušil na válec o poloměru rozdílu největšího prodloužení u zadního protizávaží a šířky stavby.

Vzdálenost od středu otáčení po konec protizávaží	$r_1 = 2.470 \text{ mm}$
Šířka stroje	$b_s = 2.550 \text{ mm}$
Hmotnost otočné stavby	$m_o = 10.552 \text{ kg}$

Výpočet momentu setrvačnosti

$$J = m_o \cdot r^2 = m_o \cdot \left(r_1 - \frac{b_s}{2}\right)^2 = 38092,72 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \quad (7)$$

Díky tomuto výpočtu lze vypočítat energii horní otočné stavby při maximální rychlosti, která je rovna součtu všech prací potřebných k jejímu zastavení. Energie se spotřebuje nejen na stlačení pružiny bezpečnostního ventilu, ale také na ohřev kapaliny a nezanedbatelnou položkou jsou i ztráty hydraulických prvků a vedení.

$$E = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} 38092,72 \cdot 0,385^2 = 27863,34 \text{ J} \quad (8)$$

Při volbě pístového akumulátoru o průměru pístu 100 mm bychom díky rovnosti energií mohli navrhnout akumulátor potřebné velikosti.

$$S_p = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} = 0,007854 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

Dále vypočteme potřebnou sílu vytvořenou maximálním tlakem působícím na píst.

$$F = p \cdot S_p = 29 \cdot 10^6 \cdot 0,007854 = 227766 \text{ N} \quad (10)$$

Vzhledem k známé energii odvodíme dráhu pístu a tím maximální teoretický objem natlakované kapaliny

$$s = \frac{A}{F} = \frac{27863,34}{227766} = 0,122m \quad (11)$$

Objem akumulátoru o daném průměru pístu je z rovnice pro objem válce následující.

$$V_A = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot s = \frac{\pi \cdot 0,1^2}{4} \cdot 0,122 = 0,00096m^3 = 0,96dm^3 \quad (12)$$

Ve skutečnosti kapalina nepřekonává stejný odpor, ale odpor vzrůstá exponenciálně. Síla je proměnná díky adiabatické změně tlaku plynu v akumulátoru v závislosti dle vzorce 5. Maximální objem by tudíž byl větší a pro jeho stanovení touto cestou by bylo nutno stanovit primární plnicí tlak a uvést ve vzorci pro dráhu pístu rovnici změny tlaku.

V praxi se běžně používá pro navrhování akumulátoru postupu obsahující vzorec 5 a z toho důvodu je v této práci použit právě tento postup. Dále se nepočítá s maximálním možným využitím, ale pouze s prvními dvaceti stupni brzdy horní otočné stavby.

5.6. Kontrola stability

Všechny prvky rekuperačního zařízení jsou navrženy do prostoru hlavního rozvaděče stroje. Tento prostor není od středu otáčení horní stavby vzdálen více jak jeden metr ve směru jak horizontálním tak vertikálním. Celková hmotnost všech přidaných prvků j přibližně 132 kg. Z těchto uvedených důvodů není potřeba kontrolního výpočtu stability. Stabilita stroje zůstane nedotčena.

5.7. Výpočet vlastní frekvence levé podpěry hydraulických prvků

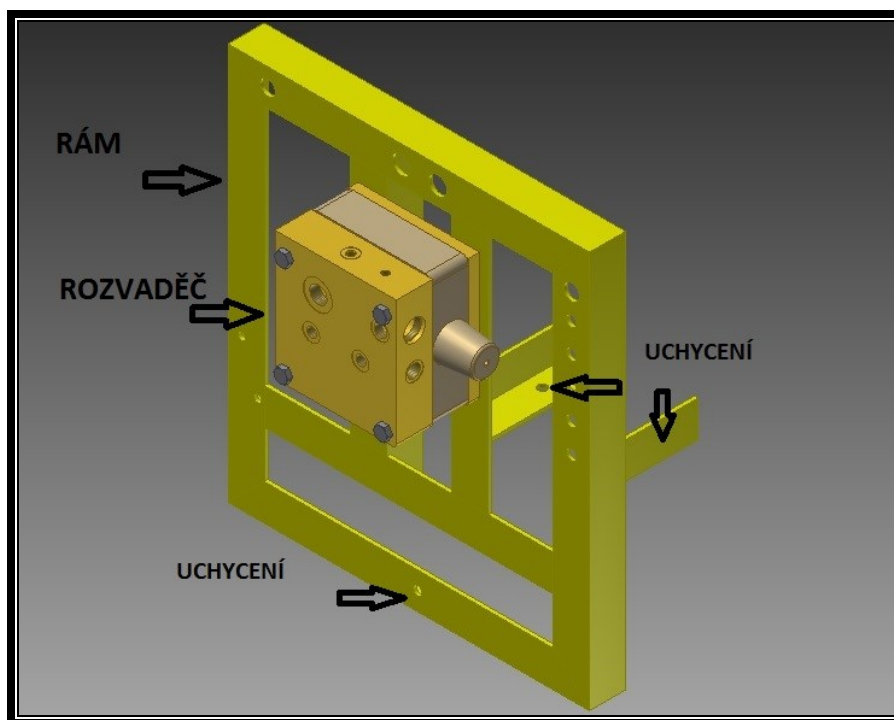
Výpočet vlastní frekvence rámu pro uchycení prvků rekuperačního zařízení. Konfrontace výsledné hodnoty vzhledem k frekvenci kmitání vlastního stroje (KOMATSU PW180-7E0), kde bude zařízení uchyceno. Zamezení rezonance a následného poškození.

Dle zadání vypočteme hodnotu vlastní frekvence v programu I-DEAS. V případě kolize s frekvencí stroje odladíme tvar nebo uchycení tak, aby výsledná hodnota vlastní frekvence nekolidovala s vibracemi od stroje.

Zadané parametry:

Základní technické parametry rámu rekuperačního zařízení, nastavení programu I-DEAS, charakteristika motoru kolového lopatového rypadla KOMATSU PW180-7 SAA6D107E-3.

- Řešení prostřednictvím systému I-DEAS podle návodu.
- Geometrický tvar, základní rozměrové prvky, úchytné části, objemová obálka. Vše dle modelu a skutečného rámu.
- Rám je vymodelován jako jeden kus, ve skutečnosti je to svařenec z profilů „L 50 x 5“
- Tloušťka stěn: 5 mm
- Rádusy a úkosity: výpočtový model nezohledňuje (zanedbatelné hodnoty)
- Typ prvku: parabolický čtyřstěn
- Velikost prvku, maximální: 5 mm
- Způsob zadání okrajových podmínek: podpora (restrain), vazba (constrain), absolutně tuhý prvek (rigid), hmotný bod (lumped mass)
- Materiál rámu: ocel 11 423
- Kmitání stroje dle otáček motoru v rozsahu 1050 - 2060 ot.min⁻¹. tj 17,5 – 34,3 Hz.



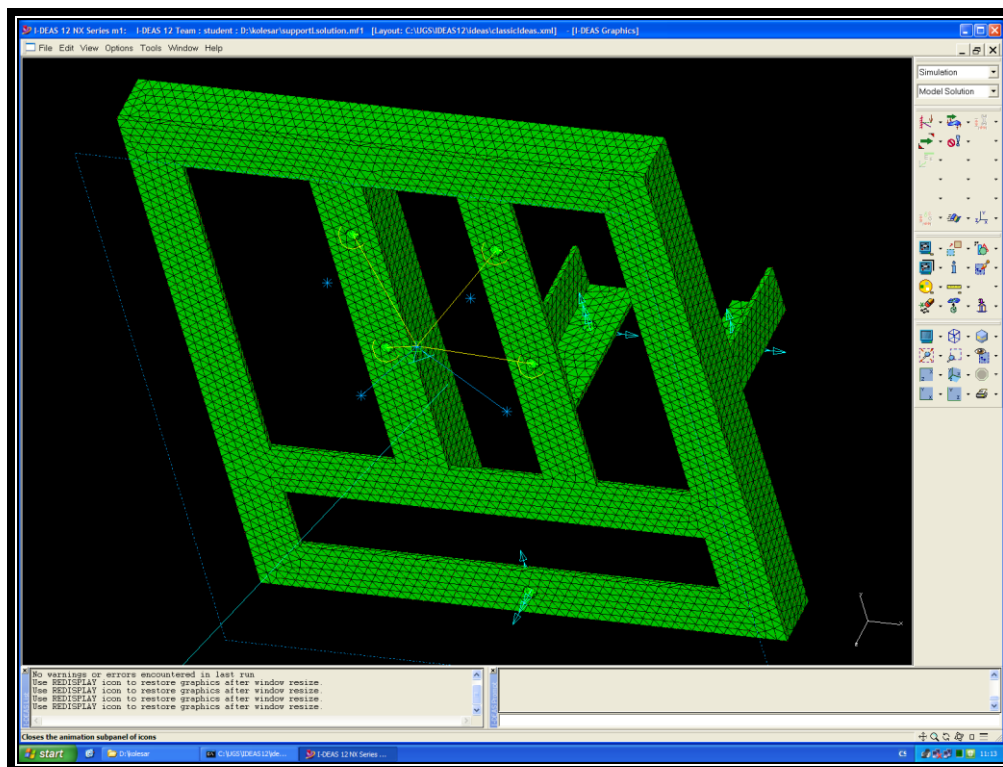
Obrázek 5.14 - Model rámu s rozvaděčem

Na obrázku jsou namodelovány jednotlivé části rámu s rozvaděčem použité pro prvotní výpočet.

- rám
- rozvaděč – skládá se ze tří částí
- spojovací šrouby – šedou barvou
- zobrazení míst uchycení ke stroji

Řešení:

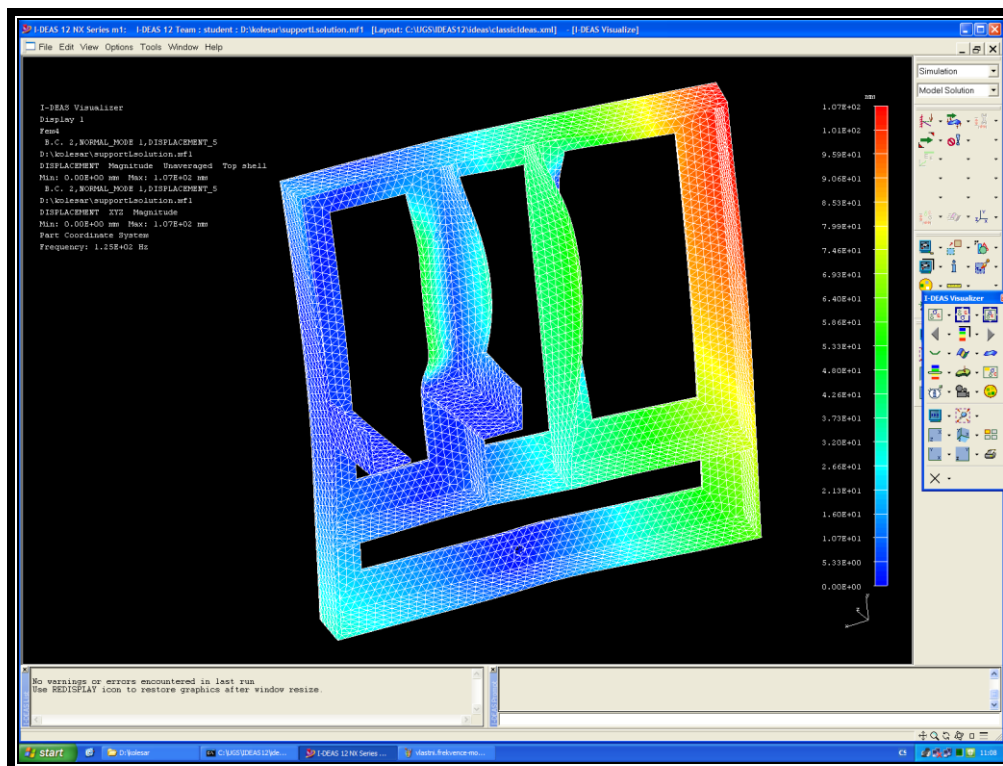
Pro řešení frekvenční charakteristiky rámu jsem použil model rámu a zjednodušené řešení rozvaděče. Ten byl nahrazen pro výpočet hmotným bodem se všemi vlastnostmi skutečného rozvaděče (umístěn v těžišti a dosazeny všechny patřičné hodnoty – hmotnost, momenty setrvačnosti dle příslušných os). Při vytváření mřížky byly použity parabolické čtyřstěny o velikosti 5 mm. Tři upevňovací šrouby rámu zařízení ke stroji byly nahrazeny 1D elementy a uchyceny absolutně tuhým prvkem. Samotný hmotný bod rozvaděče byl svázán s uchycujícími šrouby vazbou. Okrajové podmínky byly vloženy do hmotných bodů uchycujících šroubů, kde je ve skutečnosti závitové sevření skutečného rozvaděče.



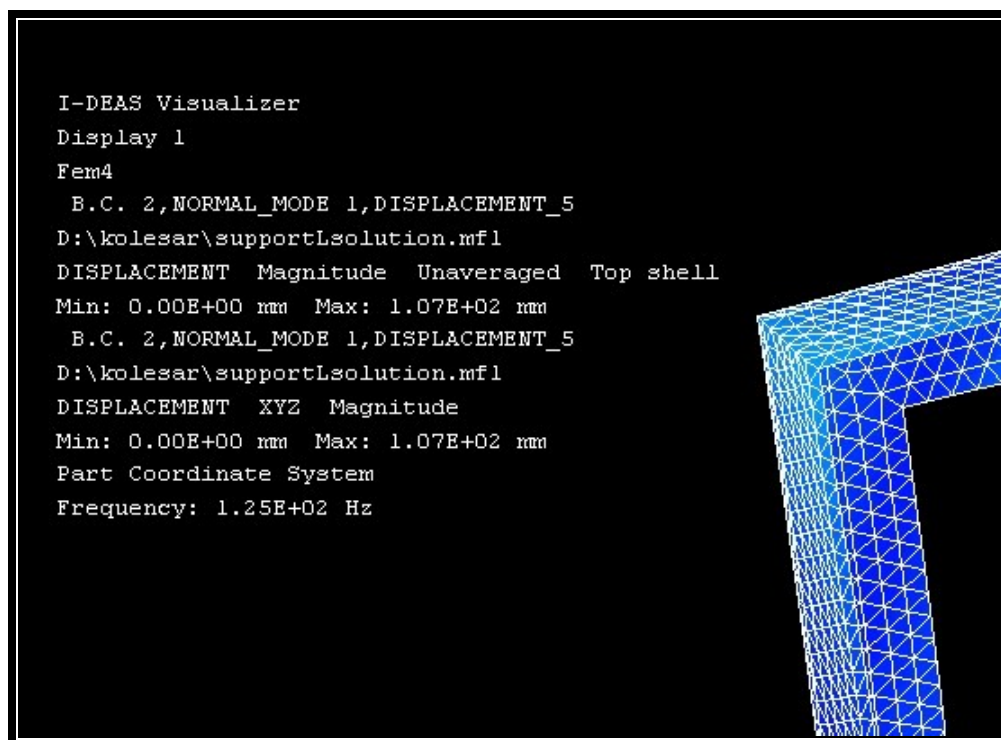
Obrázek 5.15 - Model rámu s hmotným bodem k výpočtu

Výpočet:

Na tomto upraveném modelu rámu s hmotným bodem rozvaděče byl proveden výpočet vlastní frekvence.



Obrázek 5.16 - Výpočet vlastní frekvence



Obrázek 5.17 - Detail výpočtu vlastní frekvence

Výsledek:

Na obrázku 5.16 a 5.17 je přehledně vidět vizualizace výpočtu vlastní frekvence. Dle výpočtu vyšla první vlastní frekvence rámu 125 Hz, tato hodnota překračuje kolizní frekvence dané kmitu motoru v oblasti provozních otáček.

Závěr:

Na modelu rámu rekuperačního zařízení byla výpočtem zjištěna vlastní frekvence o hodnotě 125 Hz. Díky tomuto výpočtu je při současném tvaru rámu zamezeno možnosti rezonance a zároveň neadekvátního zvýšení amplitudy napětí v místech největšího vychýlení a také uchycení rámu.

6. Výroba prototypu

Vzhledem k účasti ve studentské grantové soutěži pro rok 2013 byla na základě předběžného návrhu zařízení profinancována ze školních prostředků výroba prototypu uvedeného rekuperačního zařízení.

6.1. Výroba součástí dle výrobní dokumentace

Dle výkresů uvedených v příloze byla zadána výroba podpěr prvků zařízení, PTCV bloku a uzavírací desky přídavného rozvaděče firmě ATM servis s.r.o. Pro výrobu PTCV bloku byl objednán výpalek u společnosti KARLA s.r.o. Komerčně dostupné hydraulické komponenty byly objednány dle konzultace a výběru v katalogu u společnosti PARKER a CHARVÁT GROUP.

Společnost KUHN BOHEMIA a.s. jako distributor strojů KOMATSU v České republice také participovala a spolupodílela se na výrobě prototypu dodáním originálních prvků KOMATSU již dříve uvedených.

Kompletaci, úpravu a nástřik komponentů jsem provedl sám. Také napojení všech hadic a montáž na stroj jsem u testovaného stroje provedl ve své režii.

6.2. Elektronické zařízení

Pro využití komerční ovládací jednotky prvků řízení pro mobilní techniku jsem požádal společnost IFM o vypracování programu řízení procesu rekuperace. Na základě mých požadavků na systémovou funkci byl do jednotky nahrán program zabezpečující snímání a ovládání jednotlivých prvků dle potřeb rekuperace systému.

6.3. Cena výroby prototypu

V rámci grantové soutěže byla suma 80.000,- Kč vyčerpána na výrobu a nákup potřebných náležitostí:

- | | |
|--|--------------------|
| • Originální prvky KOMATSU | 2040,- € bez DPH |
| • Výpalek PTCV blok | 570,- Kč bez DPH |
| • Výroba bloku akumulátorů, držáků fa ATM servis | 8100,- Kč bez DPH |
| • Elektronické ovládací zařízení včetně programu | 18500,- Kč bez DPH |

- Hadice, šroubení, akumulátor 28930,- Kč bez DPH
- Ostatní (cestování, režie, spojovací materiál) 9200,- Kč bez DPH

- **Předběžná odhadovaná cena bez originálních prvků** 65300,- Kč bez DPH

Náklady na montáž a diagnostiku zařízení, které jsem prováděl sám, nebyly účtovány z důvodu vypracování této diplomové práce.

Funkční vzorky

Součástí programu studentské grantové soutěže bylo vyhotovení a zprovoznění funkčních vzorků. Jako vzorek byl uveden PTVC blok a jeho funkce a elektronický ovládací systém s popisem činnosti a blokovým schématem.

7. Měření a diagnostika zařízení

Zařízení bylo namontováno na stroj včetně propojení hydraulického okruhu s hydromotorem otočné stavby a rozvaděčem. Byl přiveden ovládací tlak do bloku ovládacích ventilů a všechny přepadový olej ze systému byl sveden do okruhu sběru přebytečného oleje. Celé zařízení bylo odvzdušněno a zkoušeno.

Během diagnostiky jsem prováděl různá nastavení škrticího ventilu a také předplnění akumulátoru dusíkem. Pro vyhodnocení jsem nakonec použil výchozí hodnoty primárního plnění 15 bar a škrticí ventil jsem nechal plně otevřený.



Obrázek 7.1 - stroj PW180 s namontovaným rekuperačním zařízením při testu

Provedl jsem zkoušku brzdy horní stavby bez použití zařízení po otočení stavby o 90° a také po otočení o 180° v různých polohách stroje se standardně zabaleným ramenem a výložníkem. Měření vycházelo z kontroly otočení stavby po ukončení ovládání ve vzdálenosti 3 metry. Výpočet byl poté proveden jednoduše pomocí Pythagorovy věty. Tento výpočet spolu s hodnotami pootočení jsou uvedeny v tabulce 2. Stejně měření poté bylo aplikováno se zapnutým zařízením a stejně vyhodnoceno (tabulka 3). Vše proběhlo po zahřátí pracovní kapaliny - hydraulického oleje - na provozní teplotu 45°C . Výsledkem je vyhodnocení brzdného úhlu horní otočné stavby stroje. Tento úhel se lišil minimálně u pootočení o 90° nebo 180° viz. Tabulka 2.

Tabulka 2 - měření brzdy otočné stavby bez aktivního zařízení

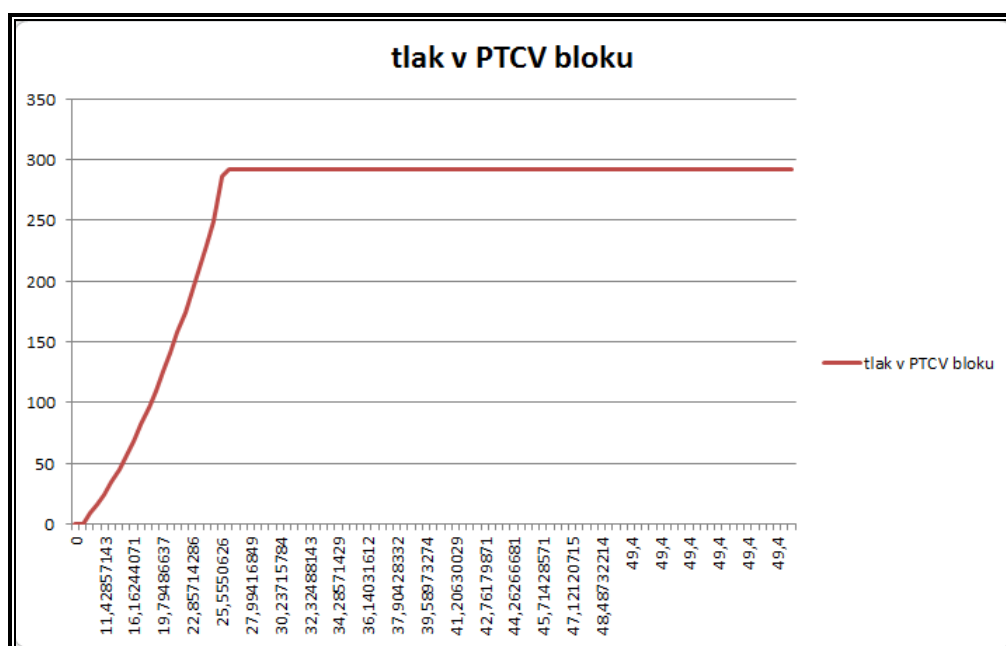
stupně	90	180		90	180
vzdálenost	2,8	3,1	úhel pootočení	43,02507	45,93919
	3	3,1		45	45,93919
	2,9	3,2		44,02898	46,84761
	3,1	3,3		45,93919	47,72631
průměr	2,95	3,175		44,49831	46,61308

Při aktivaci rekuperačního zařízení byla brzda méně účinná a to díky slabému brzdnému účinku akumulátoru v počáteční fázi plnění. Vyhodnocení úhlu je v tabulce 3 a pro analýzu tlaku z měřicího přístroje v závislosti na úhlu natočení, jsem použil konečnou hodnotu brzdy otočné stavby 49,4°.

Tabulka 3 - měření brzdy otočné stavby po aktivaci rekuperace

stupně	90	180		90	180
vzdálenost	3,4	3,3	úhel pootočení	48,57633	47,72631
	3,7	3,5		50,96449	49,39871
	3,2	3,8		46,84761	51,70984
	3,6	3,6		50,19443	50,19443
průměr	3,475	3,55		49,14572	49,75732

Během kontroly brzdy otočné stavby byl zároveň diagnostikován tlak v PTCV ventilu. Tlak narostl na maximální hodnotu danou bezpečnostním ventilem dříve, než se otočná stavba zastavila a závislost na otočení byla dopočítána pouze orientačně. Přesné měření by vyžadovalo velmi komplexní nastavení dalších diagnostických přístrojů a samozřejmě více lidí. V této fázi diagnostiky šlo především o kontrolu funkce celého zařízení a jeho seřízení pro další použití u zákazníka.



Obrázek 7.2 - Průběh tlaku v PTCV bloku naměřený měřicím přístrojem Parker serviceman

Další využití natlakovaného oleje pro počátek otáčení stavby je díky navrženému automatickému systému neměřitelné. Už od počátku návrhu bylo počítáno s následným vyhodnocením spotřeby paliva díky monitorovacímu systému KOMTRAXTM, které je nainstalováno ve všech strojích KOMATSU.

Tento systém pracuje na bázi GPS sledování polohy strojů a satelitního předávání údajů o stroji z monitoru stroje. Zajišťuje tak trvalou kontrolu pro majitele a servisní pracovníky nad polohou a pohybech stroje, jeho funkcích, chybách a případně závadách při provozu a soustřeďuje informace o využití a vytíženosti stroje v práci.

Majitelům strojů se tak nabízí možnost pravidelně sledovat způsob používání a využití jejich strojů, včetně denních, měsíčních a ročních přehledů jednotlivých strojů a dostávají tak do rukou velice účinný nástroj pro zvyšování efektivity práce. Tyto údaje se k nim dostávají bez nutnosti dodatečných výkazů strojníků a bez nebezpečí jejich zkreslování.

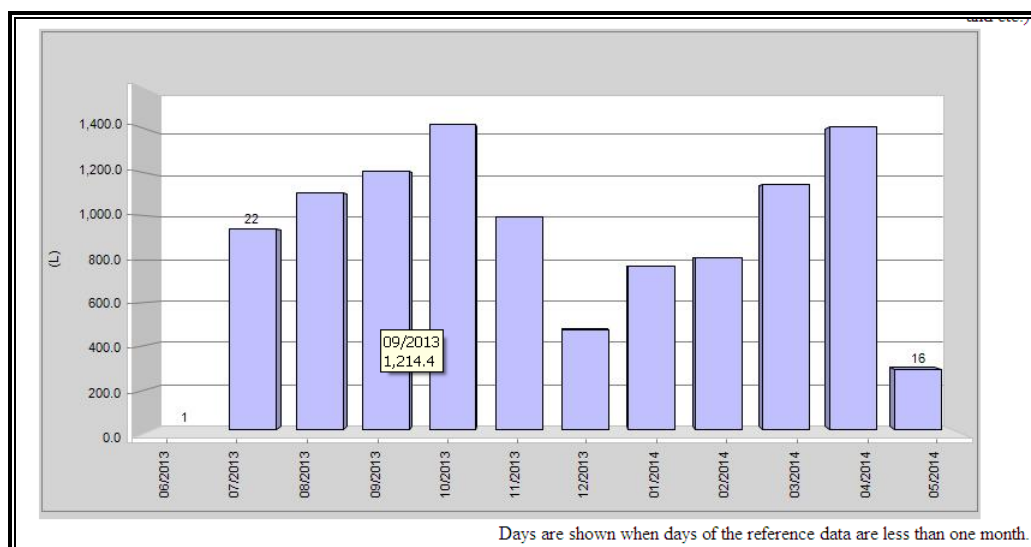
Předávané informace můžeme rozdělit do tří skupin.

Sledování pohybu stroje Tento systém za prvé trvale sleduje polohu stroje a neprodleně hlásí jakýkoliv pohyb stroje mimo vymezené pracoviště. Majitel stroje má trvale pod kontrolou umístění a jakýkoliv pohyb stroje a může i zpětně sledovat přesuny svých strojů mimo určené pracoviště. Dispečeri velkých společností dostávají do rukou výborný prostředek sledování a řízení strojů. Provozní informace o stroji Dále KOMTRAX za běžných podmínek hlásí 1x denně (obvykle v noci) všechny údaje o provozu stroje, počet odpracovaných motohodin, jeho vytížení, použití přídavných pracovních zařízení, zatížení či přetížení stroje apod.

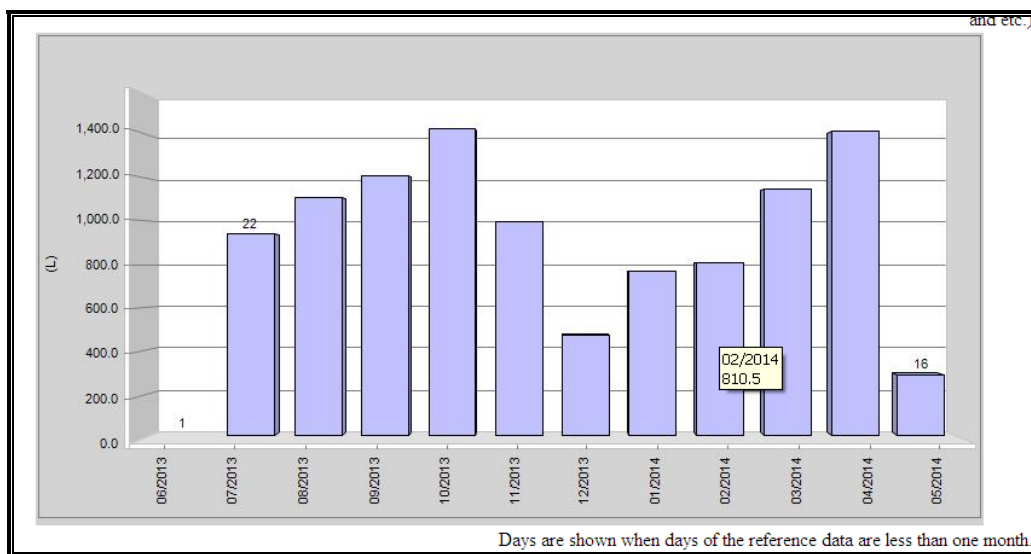
Provozovatel může okamžitě či v měsíčních či ročních přehledech sledovat jak stroj pracoval, kdy běžel na volnoběh, kdy pracoval na plný výkon či byl přetěžován, kdy pracovala hydraulika stroje a kdy jen běžel motor, kdy byl činný přídavný hydraulický okruh například při použití hydraulického kladiva. Samostatnou a velice žádanou oblastí je sledování spotřeby paliva stroje.

Zařízení bylo na stroj montováno v lednu 2014. Díky možnosti sledování spotřeby paliva stroje dle zadaných parametrů (obrázky 7.3, 7.4, 7.5) jsem vyhodnotil následující úsporu na stroji viz. Tabulka 4. Dle uvedených průměrných spotřeb v daných měsících je zcela zřetelné, že průměrná spotřeba s použitým rekuperačním zařízením klesla přibližně o 1,5 litru na jednu motohodinu. Pro představu při

průměrném náběhu stroje za jeden rok 1000 motohodin by to znamenalo úsporu ve výši cca 35.000,- Kč. Dle tohoto údaje se dá následně určit také návratnost této investice. Pro toto porovnání je potřeba, ale plně zohlednit investiční a výrobní náklady.



Obrázek 5.3 - graf spotřeby paliva se zvýrazněnou spotřebou v měsíci září 2013



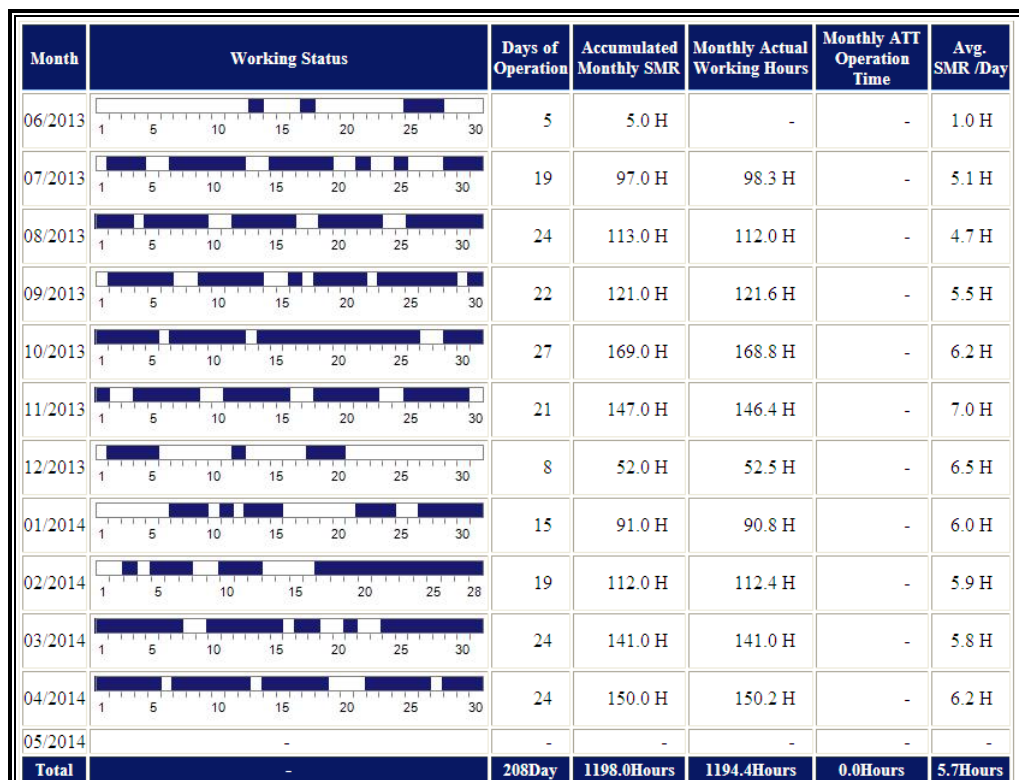
Obrázek 7.4 - graf spotřeby paliva se zvýrazněnou spotřebou v měsíci únor 2014

Během provozu stroje s namontovaným zařízením nebyla rekuperace užívána neustále. Při drobných manipulačních operacích není tento systém efektivní. Dle sdělení uživatele bylo zařízení užíváno v průměru kolem 20%. Tento údaj je ovšem nepodložen. Operátor si nevedl žádnou statistiku.

Tabulka 4 - výpočet průměrné spotřeby dle údajů z monitorovacího systému

Výpočet průměrné spotřeby dle systému KOMTRAX					s rekuperačním zařízením		
měsíc	07/2013	08/2013	09/2013	10/2013	02/2014	03/2014	4/2014
spotřeba paliva	961,3	1098,7	1214,4	1448,9	810,5	1150,2	1301,2
počet mth	97	113	121	169	112	141	150
spotřeba	9,910309	9,723009	10,03636	8,573373	7,236607	8,157447	8,674667

průměr 2013 bez zařízení	průměr 2014 se zařízením
9,560764	8,022907



Obrázek 7.5 - rozpis odpracovaných motohodin stroje v jednotlivých měsících

Velmi důležitým faktorem se projevila nevhodná volba přepínacích ventilů rekuperace. Během testování i následného provozu se tyto neproporcionální ventily projeví ostrými rázy při spínání. Byl proveden pokus o jejich hladší chod využitím škrtičů v jejich ovládání, ale tento neduh nebyl zcela odstraněn.

Pro odstranění této komplikace je dle mé úvahy potřeba obměnit přepínací ventily za proporcionální, anebo překopání systému na jiný způsob ovládání (např. elektrohydraulické proporcionální ovládání). Inovace tohoto vylepšení by musela být pojata velmi komplexně a vyžádala by si vypracování kompletní nové zprávy a zařízení.

8. Závěr

Ve své diplomové práci jsem se zabýval shrnutím hybridních systémů pohonu zemních strojů. Provedl jsem srovnání v dnešní době používaných systémů a vystihl jejich výhody či nevýhody. Této problematice jsem se dlouhodobě věnoval a v této práci jsem shrnul můj vlastní návrh univerzálního rekuperačního zařízení pro hydraulická lopatová rypadla. Návrh byl proveden v závislosti na znalostech získaných studiem vysoké školy. Jeho důležitou částí je ověření ekvivalentních napětí metodou konečných prvků vypočtenou programem ANSYS, dále aplikace hydraulických prvků a jejich použití v praxi. Jako mechanik stavebních strojů se dlouhodobě zabývám diagnostikou hydraulických systémů a tato problematika mi je blízká. Vzhledem k mému dlouhodobému zájmu o nekonvenční technologie, kdy jsem narazil na zařízení REKS používané na lopatových rypadlech UNEX DH 411, a po té moderní technologie společnosti KOMATSU, CATERPILLAR a HITACHI, jsem se rozhodl zkusit navrhnout vlastní zařízení. Při studování potřebných parametrů a dostupné literatury jsem svůj návrh směřoval k již užívanému systému tlakové rekuperace. Konstrukce prototypu tohoto typu hybridní technologie je pro mne odrazovým můstkem v aplikaci hybridních technologií zemních strojů a motivem k další činnosti v tomto inovativním a perspektivním průmyslovém zaměření.

Naměřená výsledná úspora je zásadním prvkem rekuperace, ale je nutno vyřešit problém s rázy v přepínacích ventilech. Výsledné testování přineslo spoustu nových impulzů do dalšího studia a navrhování podobných systémů, ale i tendenci dál pokračovat na zdokonalení prvního prototypu. Práce a vyrobený prototyp má za cíl využití hybridní technologie tlakové rekuperace jako doplněk do funkčních strojů, kde má při očekávaném pracovním režimu přinést vysoce žádanou úsporu pohonných hmot a snížení celkové ekologické zátěže emisemi oxidu uhličitého CO₂.

9. Seznam použitých pramenů

- [1] JEŘÁBEK, Karel, František HELEBRANT, Josef JURMAN a Věra VOŠTOVÁ. *Stroje pro zemní práce: Silniční stroje*. první. Ostrava: VŠB . TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 1996, 466 s. ISBN 80-7078-389-3.
- [2] JEŘÁBEK, Karel. *Konstrukce a provoz hydraulických lopatových rýpadel*. první. Praha: Vydavatelství ČVUT, Praha 1, Husova 5, 1978, 152 s. ISBN 55-504-78.
- [3] MARŠÁL, Petr. *Stavební stroje*. první. Vysoké učení technické v Brně: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2004. ISBN 80-214-2774-4.
- [4] VOŠTOVÁ, Věra et al. *Progresivní technika v technologiích zemních prací*. první. Praha: ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, 2008. ISBN 978-80-01-04221-2.
- [5] www.komatsu.net 19.8.2012
- [6] www.komatsu.cz 24.1.2013
- [7] KOPÁČEK, Jaroslav a Bohuslav PAVLOK. *Tekutinnové mechanismy*. první. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 1994, 156 s. ISBN 80-7078-238-2.
- [8] PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy, díl 1.: Kapaliny v hydraulických mechanismech Hydrostatické převodníky*. první. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 1999, 158 s. ISBN 80-7078-620-5.
- [9] PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy díl 2.: Řídící prvky hydrostatických systémů Příslušenství hydraulických obvodů*. první. Ostrava: VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2008, 150 s. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [10] *Magazín stavebné stroje a mechanizácia*. Bratislava: M.I.A s.r.o. Čermyševského 46, 851 01 Bratislava, 2013, roč. 8, č. 6. ISSN 1336-958X.

10. Seznam příloh

Příloha A

Výkresová dokumentace – výrobní výkres PTCV bloku

Příloha B

Výkresová dokumentace – výrobní výkres levé podpěry zařízení

Příloha C

Výkresová dokumentace – výrobní výkres pravé podpěry zařízení

Příloha D

Výkresová dokumentace – výrobní výkres těsnící desky

Příloha E

Zobrazení kompletního zařízení s kusovníkem

Příloha F

Hydraulické schéma rekuperačního zařízení - česky

Příloha G

Hydraulické schéma rekuperačního zařízení - anglicky

Příloha H

Výpis programu elektronické ovládací jednotky

Příloha I

Diplomová práce na CD